

•编者按•

从世界自然保护大会看生物多样性保护的新趋势

马克平*

(中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

New trends for biodiversity conservation from the World Conservation Congress

Keping Ma*

State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

第六届世界自然保护大会于2016年9月1–10日在美国夏威夷召开, 主题是“处于十字路口的地球: 决定可持续的未来之路”。来自世界各地的一万余人参加了大会, 既有自然保护领域的专家、自然保护组织的负责人, 也有政府首脑等政要和企业界领袖, 更有普通的自然保护工作者和众多的年轻学子。真正是全球自然保护领域的盛会, 总结取得的进展和面临的挑战, 决定自然保护的未來走向。大会包括两个部分: (1)自然保护论坛; (2)世界自然保护联盟(IUCN)会员大会和相关活动。自然保护论坛包括1,300场活动, 其中高级别论坛(high level session)最受关注。大会审议通过了联盟理事会主席章新胜的工作报告和总干事Inger Andersen的工作报告、表决通过了106项提案、审议通过了未来四年的工作方案(programme of work)(附录1)、选举产生了新一届的理事会(包括理事和理事长)和6个专业委员会主席(<http://iucnworldconservationcongress.org/>)。来自中国的章新胜高票连任世界自然保护联盟主席。大会还通过了夏威夷承诺(Hawaii Commitments)。

鉴于世界自然保护大会参加者的广泛性和代表性, 大会的成果对于未来几年自然保护领域的全球发展态势具有关键的影响力。成果主要包含在大会通过的三个重要文件中, 即通过的提案、未来四年工作方案和夏威夷承诺。认真分析这三个文件, 可以得到下面几点认识:

(1)未来的自然保护行动会积极支持联合国可

持续发展目标(<https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>)、《生物多样性公约》的爱知目标(www.cbd.int)以及气候变化《巴黎协定》(<http://unfccc.int/2860.php>)等全球重要议程的实施。在IUCN未来四年工作方案中体现得非常明显, 这也是未来四年方案与2013–2016年方案的重要不同之处。比较两个四年期方案可以看出, 基本框架没有大的改变, 只是内容上作了调整, 但未来四年的方案中明确提出了与联合国可持续发展目标、《生物多样性公约》的爱知目标以及气候变化《巴黎协定》的关联。方案领域一是评估和保护自然, 重点在支撑可持续发展目标14和15, 分别是保护和可持续利用海洋资源与保护、恢复和可持续利用陆地生态系统, 可持续经营森林、防治荒漠化、遏制土地退化和生物多样性丧失; 第二个方案领域是自然资源的可持续利用和惠益公平分享, 重点支撑可持续发展目标5, 10, 16, 17, 关键是可持续发展的广泛参与和所得惠益的公平共享; 第三个方案领域是基于自然的解决方案, 重点支撑可持续发展目标1, 2, 3, 11, 13, 关键是基于生物多样性和生态系统服务解决贫困、食物安全、人类健康和气候变化等问题(详见附录1)。

(2)基于自然的解决方案是IUCN未来四年工作方案的核心。IUCN未来四年方案的第一个方案领域重点在于保护; 第二个方案领域重点在于可持续利用和惠益的公平共享; 二者都是基于自然系统的行动。基于自然的解决方案是从根本上解决社会、经济和生态问题的有效而长久的方案, 是IUCN工

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: kpma@ibcas.ac.cn

作方案的灵魂。这个理念得到了联合国可持续发展目标和气候变化的《巴黎协定》等国际行动框架的认可和重视,逐步成为行动计划的指导原则。从大会通过的提案看,只有10%是关于基于自然的解决方案的,57%是关于评估和保护自然的。说明会员们对IUCN传统优势的工作更加重视,对于新近形成的可能对未来更为重要的战略选择还需要时间去理解和接受。

(3)海洋生态系统保护受到重视。《生物多样性公约》爱知目标第17条规定,到2020年,陆地保护地面积不小于国土面积的17%,海洋保护地面积不小于10%。从《公约》秘书处组织的中期进展评估看,陆地保护地目标实现没有问题,但海洋保护地目标实现的难度较大。联合国可持续发展目标14专门是关于海洋生态系统保护的。基于这样的背景,大会特别召开了岛屿国家政要参加的太平洋峰会,数个岛国的总统或总理参加了会议。在大会召开前夕,美国总统奥巴马宣布夏威夷西部的帕帕哈瑙莫夸基亚国家海洋保护地(Papahānaumokuākea Marine National Monument)扩大到36万km²,成为世界上面积最大的保护地。伯劳总统莱蒙基绍(Tommy Remengesau)在大会开幕式致辞时宣布该国海洋专属经济区的80%将成为保护地。大会投票通过了到2020年至少30%的海洋得到保护的提案。虽然目标较高,但成为了大会的共识。凡此种种,可以看出海洋保护受到国际社会的空前重视。

(4) IUCN的保护工具(conservation tools)不断完善。IUCN在全球生物多样性受威胁程度评估和自然保护地建设方面具有无可争辩的权威性。代表性的产品包括物种受威胁程度评估标准和物种红色名录;自然保护地分类标准和指导原则以及全球数据库等。近年发展起来的保护工具包括自然保护地绿色名录、生态系统红色名录和生物多样性关键区域(key biodiversity area)等。在大会期间,这些保护工具的培训推介活动深受欢迎。哈佛大学的E. O. Wilson教授,被人们尊称为“生物多样性之父”,在

大会高级别论坛演讲时高度赞扬了IUCN保护工具和数据库的影响力。

(5)我国在世界自然保护大会的参与度不断提高。IUCN理事会主席章新胜曾任我国教育部副部长,很多大型活动都是由他主导的。我国代表团主办了多场活动,例如:“加强生态系统治理,促进生态文明建设”、“大都市水源地保护”、“生态系统生产总值(GEP)”、“中美森林景观恢复的经验”、“中国的投资是否能够改变非洲的环境”;我国参会者应邀在相关的活动中演讲,如“生态系统红色名录论坛”、“国家物种红色名录论坛”、“保护地绿色名录论坛”;本人作为亚洲区会员委员会主席还主持了IUCN亚洲会员大会,并代表268个团体会员在全球区域和国家委员会大会发言,提出如何充分发挥会员作用的建议。

针对我国的实际情况,提出以下几点建议:(1)无论是可持续发展目标和爱知目标的实现,还是应对气候变化以及其他环境危机,基于自然的解决方案是长远的战略选择,我国应该重视;(2)加强海洋生物多样性本底与保护对策的研究,既是保护的需要,也是我国外交工作的需要,应特别重视周边国家在东海申报世界自然遗产地、在南海推动建立海洋和平公园的意向;(3)重视基于科学的保护行动,特别是在IUCN保护工具应用方面需要加强,如物种红色名录与全球红色名录的对接、中国生态系统红色名录项目的启动、生物多样性关键区域评估的开展、自然保护地绿色名录的积极参与和生态系统服务与治理工作的加强等;(4)基于多个方面的形势分析,我国应鼓励亚洲生物多样性分布、热点、保护空缺和保护规划方面的研究,在做好本国工作的基础上,结合“一带一路”等国家战略为区域自然保护作出负责任大国应有的贡献,积极参与和主导区域自然保护和环境治理。

(责任编辑:周玉荣)

附录 Supplementary Material

附录1 IUCN未来四年的工作方案

Appendix 1 IUCN Programme 2017–2020

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2016319-1.pdf>

•研究报告•

不同取样强度下古田山木本植物幼苗组成及其分布格局比较

郭 印^{1,2} 王云泉^{1,2} 陈 磊^{2*} 米湘成² 任海保² 陈声文³ 陈建华^{1*}

1 (浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江金华 321004)

2 (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

3 (古田山国家级自然保护区管理局, 浙江开化 324300)

摘要: 幼苗阶段是森林群落更新的瓶颈, 研究木本植物幼苗组成和分布格局对正确认识森林群落构建以及多样性维持机制具有十分重要的意义。以往基于幼苗阶段的研究取样强度较小, 主要涉及常见种, 缺乏对稀有种的有效监测。我们对古田山24 ha森林样地幼苗监测网络进行了扩建, 在已有507个1 m × 1 m幼苗监测样方的基础上, 增设了285个5 m × 5 m幼苗样方, 对样方内所有高度 ≥ 10 cm且胸径 < 1 cm的木本植物幼苗按大样地监测标准进行了定位、挂牌、鉴定和测量。本研究利用2012年5 m × 5 m幼苗监测样方的首次调查数据, 比较了24 ha大样地中不同取样强度下幼苗和非幼苗(胸径 ≥ 1 cm的木本植物)个体在物种组成、多样性分布格局以及生境偏好等方面的差异。结果表明: (1) 285个5 m × 5 m幼苗监测样方共计有木本植物幼苗138种20,581株, Shannon-Wiener多样性指数以及经多度校正的物种丰富度指数均显著高于1 m × 1 m幼苗监测样方以及24 ha大样地的非幼苗个体, 该结果与基于Rarefaction方法计算的物种数期望值结果一致; 与1 m × 1 m幼苗监测样方结果相比, 5 m × 5 m幼苗监测样方内物种数-取样面积曲线趋于饱和。(2) 5 m × 5 m幼苗监测样方幼苗与24 ha大样地非幼苗个体物种多度呈异速增长关系, 表明植物在幼苗阶段受到负密度制约效应的影响, 死亡率相对较高。(3) 取样强度和胸径阈值的选取对群落稀有种的界定有重要影响, 朱砂根(*Ardisia crenata*)、山胡椒(*Litsea cubeba*)、美丽胡枝子(*Lespedeza thunbergii* subsp. *formosa*)等物种在24 ha样地水平被认为是稀有种, 但是在5 m × 5 m幼苗样方却属于常见种。(4) 指示种分析结果表明, 基于不同取样强度的幼苗生境指示种与基于大样地非幼苗个体的分析结果存在较大差异。在5 m × 5 m幼苗样方中, 13个物种与单一生境类型显著相关, 其中仅有3个物种与1 m × 1 m幼苗样方指示种相同, 与24 ha大样地非幼苗相比, 仅有2个共有指示种。总之, 不同取样强度可显著影响幼苗物种多样性格局的分析结果, 通过样方扩建对林下幼苗进行系统监测, 可进一步加深对群落生物多样性维持机制的认识。

关键词: 古田山; 木本植物幼苗; 取样强度; 稀有种; 物种多样性维持机制

Comparing tree seedling composition and distribution patterns under different sampling intensities in the 24 ha Gutianshan forest dynamics plot

Yin Guo^{1,2}, Yunquan Wang^{1,2}, Lei Chen^{2*}, Xiangcheng Mi², Haibao Ren², Shengwen Chen³, Jianhua Chen^{1*}

1 College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

3 Gutianshan National Nature Reserve Administrative Bureau, Kaihua, Zhejiang 324300

Abstract: As the seedling stage is the bottleneck in forest tree regeneration, knowledge of the composition and structure of seedlings is crucial to understanding the mechanisms of community assemblage and diversity maintenance. However, based on the limited sampling intensity common in previous studies, seedling census datasets are representative of common species, but are ineffective for monitoring rare species. In this

收稿日期: 2015-12-03; 接受日期: 2016-10-19

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31270495)

* 共同通讯作者: Co-authors for correspondence. E-mail: sky78@zjnu.cn; chenlei@ibcas.ac.cn

study, we established a new seedling monitoring network in the 24 ha Gutianshan (GTS) forest dynamics plot (FDP) consisting of 285 seedling plots ($5\text{ m} \times 5\text{ m}$) in 2012. In the seedling pots, all woody plants ($\text{DBH} < 1\text{ cm}$ and height $\geq 10\text{ cm}$) were tagged, mapped and measured every two years. We used the first census data to investigate seedling composition, species diversity patterns, seedling, and non-seedling species habitat association. Our results showed that: (1) There were 138 species, consisting of a total of 20,581 individuals in 285 seedling plots of $5\text{ m} \times 5\text{ m}$. The Shannon-Wiener diversity index and Rarefied species richness were higher than those of the $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ seedling plots and 24 ha FDP census ($\text{DBH} \geq 1\text{ cm}$). Similar results were found when using rarefaction approach. Compared with $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ seedling plots, the number of species showed a significant increase and the species-area curve became more asymptotic. (2) The relationship between seedling abundance and tree species exhibited negative allometry, suggesting that the mortality rate of plants in the seedling stage was relatively high compared with the rate found in the non-seedling stage due to the negative density dependence. (3) Sampling intensity and selection of DBH cutoffs influence the definition of rare species. Some rare species defined by trees with $\text{DBH} \geq 1\text{ cm}$ were not actually rare when individuals with $\text{DBH} < 1\text{ cm}$ were considered (i.e. *Ardisia crenata*, *Litsea cubeba*, *Lespedeza thunbergii* subsp. *formosa*). (4) The indicator species of the $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ seedling plots were different from those found in the 24 ha FDP and the $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ seedling census. 13 species was significantly correlated with single habitat type in these $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ seedling plots, which shared only three species that identified as indicator species for $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ seedling plots and two species for non-seedling plots. In conclusion, sampling intensity influenced patterns of tree seedling composition and community diversity, and increasing sampling intensity can provide deeper insights into the processes of diversity maintenance.

Key words: Gutianshan (GTS); tree seedling; sampling intensity; rare species; mechanisms of maintenance of species diversity

林下幼苗是森林生态系统的重要组成部分 (Parent et al, 2003), 也是森林群落更新的关键, 其动态变化将会直接影响群落的物种组成和空间结构 (Green et al, 2014)。热带和亚热带森林的相关研究表明, 很多生态学过程如负密度制约和生境过滤都会对幼苗动态产生影响, 并会延续到其后的多个生活史阶段 (Szwagrzyk et al, 2001; Lambers et al, 2002; Paine & Harms, 2009)。因此, 研究森林中的幼苗更新格局和动态有助于揭示群落构建过程以及生物多样性维持机制 (Hubbell et al, 1998; Antos et al, 2005)。

亚热带常绿阔叶林是我国的特色植被之一, 也是我国生物多样性最为丰富的地带性植被 (吴征镒, 1980; 宋永昌等, 2005)。目前, 关于亚热带森林物种组成和群落结构的研究已获得广泛关注 (祝燕等, 2008; 杨庆松等, 2011; 金毅等, 2015)。但是以往基于大样地的研究主要侧重于探讨胸径 (DBH) $\geq 1\text{ cm}$ 的非幼苗的多样性格局, 对林下幼苗的研究较少, 即使有一些研究涉及幼苗, 也由于取样强度较小, 并不能充分反映群落水平的幼苗组成和分布格局 (Chen et al, 2010; Bin et al, 2012)。同时, 森林群落

中很多物种是稀有种, 由于扩散限制、生境过滤等因素的影响, 这些物种往往呈聚集分布, 不充分的取样容易低估它们在群落水平的贡献 (McGill et al, 2006; Mi et al, 2012)。

正确认识群落物种组成及其分布格局是揭示群落多样性维持机制的关键。不同生态学过程通常能够通过影响森林群落幼苗的更新、生长以及死亡, 最终改变群落生物多样性的空间分布格局 (Paine et al, 2012; Muscarella et al, 2013)。例如, 扩散限制导致种子散布在母树附近, 形成物种的聚集分布格局 (Svenning & Wright, 2005); 由于资源竞争和共享病原菌, 局域较大的同种个体密度会导致幼苗死亡率上升, 产生负密度制约效应 (Janzen, 1970; Connell, 1971); 由于物种对环境偏好的差别, 生境异质性能通过生境过滤显著改变物种的分布 (Wang et al, 2011)。树木的生活史周期一般会持续几十年甚至上百, 不同生态学过程会共同作用于其生活史的各个阶段, 并留下可被检测的信号 (Lebrija-Trejos et al, 2010; Jansen et al, 2014)。木本植物幼苗阶段是森林更新重要的生活史阶段之一, 揭示其动态格局对认识森林群落的多样性维持具有十分重要的意义

(Goldsmith et al, 2006)。因此, 通过物种分布格局推测其背后潜在的生态学过程成为现代群落生态学研究的重要手段, 而建立完善的森林动态监测网络正日益成为研究群落多样性维持机制的关键(Carson et al, 2008)。近年来, 随着世界范围内大型森林动态样地的建立, 利用群落物种组成和多样性格局探讨森林物种共存机制成为当下群落生态学研究热点之一(宋永昌等, 2015)。

我们通过对古田山24 ha森林动态监测样地中幼苗监测样方的扩建, 增设了285个5 m × 5 m幼苗监测样方, 对样方内所有高度 ≥ 10 cm且DBH < 1 cm的木本植物幼苗进行监测, 并于2012年完成了首次调查。我们以该数据为基础, 结合样地内已经开展的种子雨和凋落物监测, 初步实现了对样地内木本植物多个生活史阶段(种子、幼苗、小树以及大树)的动态监测, 为从不同生活史阶段探究多样性的形成和维持机制提供了可能。本研究通过比较不同取样强度下样地内幼苗及非幼苗个体在物种组成、多样性分布格局以及生境偏好等方面的差异, 主要探讨样地幼苗和非幼苗阶段的物种组成及多样性分布格局、稀有种组成的差异, 以及植物的这两个阶段对生境异质性的不同响应。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

古田山国家级自然保护区位于浙江开化县, 总面积8,107 ha, 主峰青尖海拔1,258 m, 属中亚热带常绿阔叶林区域。古田山地处亚热带季风气候区, 年均降水量1,963.7 mm, 年平均气温15.3℃, 主要土壤类型为红壤、黄红壤、红黄壤和沼泽土, 呈酸性(胡正华等, 2003)。保护区有野生种子植物149科648属1,426种(包括种以下分类单位), 其中国家级珍稀濒危植物17种, 而香果树(*Emmenopterys henryi*)、野含笑(*Michelia skinneriana*)和紫茎(*Stewartia sinensis*) 3种珍稀植物的群落之大, 分布之集中为全国罕见(楼炉煊和金水虎, 2000)。

古田山24 ha森林动态监测样地(29°15.102'–29°15.344' N, 118°07.010'–118°07.400' E)始建于2004年11月。样地东西长600 m, 南北宽400 m, 地形极为复杂, 最大海拔高差268.6 m。参照CTFS (Center for Tropical Forest Science)样地建设标准, 对样地内所有DBH ≥ 1 cm的木本植物进行定位、

挂牌, 记录其树种名称、DBH、坐标等(Condit, 1998)。2005年首次调查共记录到木本植物159种140,700株, 分属于49科104属。甜槠(*Castanopsis eyrei*)、木荷(*Schima superba*)和马尾松(*Pinus massoniana*)为主要优势种。样地内垂直结构清晰, 由林冠层、亚乔木层和灌木层组成(祝燕等, 2008)。

1.2 方法

1.2.1 幼苗监测样方设置与调查

在古田山24 ha森林动态监测样地已有的507个1 m × 1 m幼苗监测样方的基础上(田锴等, 2013), 于2011年按照“规则取样法”在样地内均匀增设了285个5 m × 5 m幼苗监测样方, 每个样方位于所在20 m × 20 m样方的东北角, 距离样方北边界和东边界各2 m (图1)。

对285个5 m × 5 m幼苗监测样方内所有高度 ≥ 10 cm且DBH < 1 cm的木本植物幼苗进行定位、挂牌, 记录相关物种名、植株高度、叶片数、根萌数等。于2012年5月完成第一次调查, 以后每两年复查一次, 本研究主要基于首次调查数据。

1.2.2 数据分析方法

(1)木本植物幼苗重要值的计算公式为: 重要值 = 相对多度 + 相对频度(陈章和等, 1996), 其中相对多度 = (目标种的多度/所有种的多度和) × 100%, 相对频度 = (目标种的频度/所有种的频度和) × 100%。

(2)种–面积曲线的计算采用Kindt's exact积累计算方法(Ugland & Ellingsen, 2003)。

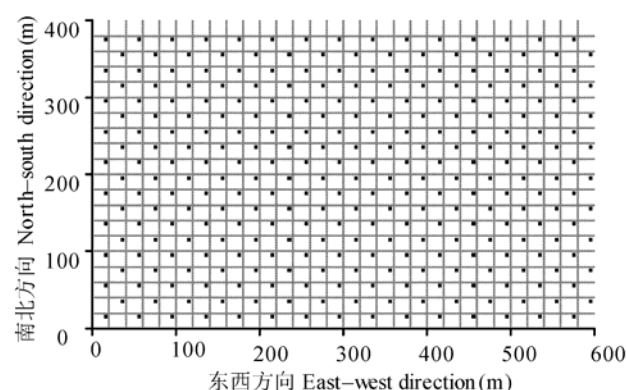


图1 古田山24 ha森林动态监测样地中285个5 m × 5 m幼苗监测样方分布图

Fig. 1 The layout of 285 seedling plots (5 m × 5 m) in the 24 ha GTS forest dynamics plot

$$S_n = \sum_{i=1}^S (1 - p_i) \quad (1)$$

$$p_i = \binom{N-f_i}{n} / \binom{N}{n} \quad (2)$$

其中, f_i 是物种 i 的频度, $\binom{N}{n}$ 为二项式系数, S 为群落中物种数, S_n 为随着面积增加累计的物种数, p_i 为物种 i 的频度校正值。

(3) 树种幼苗多样性采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 和 Pielou 均匀度指数 (E) 衡量 (Shannon, 1948; Pielou, 1975):

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$E = \frac{H}{\ln S} \quad (4)$$

其中, $P_i = N_i/N_0$, N_0 为观察到的物种总个体数, N_i 为物种 i 的个体数, S 为群落中物种数。

(4) 幼苗与 24 ha 大样地内非幼苗 ($\text{DBH} \geq 1 \text{ cm}$) 物种多度关系采用 Comita 等 (2007) 提出的计算方法, 公式如下:

$$\log N = \log a + b \times \log R \quad (5)$$

其中, N 为 5 m × 5 m 幼苗监测样方内幼苗物种多度, R 为 24 ha 样地内非幼苗物种多度, a 为幼苗的平均密度, b 为斜率 (95% 置信区间)。如果 $b < 1$ 或 $b > 1$, 则不同物种幼苗与非幼苗多度呈异速增长关系。

(5) Rarefaction 抽样采用 Hurlbert (1971) 和 Heck 等 (1975) 的公式计算:

$$E(S_n) = S - (C_N^n)^{-1} \sum_{i=1}^S C_{N-N_i}^n \quad (6)$$

其中, $E(S_n)$ 为随机抽取 5 m × 5 m 幼苗监测样方中 1,000 个个体的物种数期望值, N 为群落中物种个体总数, S 为群落中物种数, N_i 为物种 i 的个体数, n 为抽取样本中所包含的个体数 (本文中 $n = 1,000$)。

(6) 参照多元回归树 (multivariate regression tree, MRT) 的划分结果 (Legendre et al, 2009), 古田山 24 ha 森林动态监测样地可划分为 5 种生境类型: 低地山谷、低地山脊、中位山坡、高位山坡和高地山脊, 其中高位山坡生境类型仅占总面积的 1.33%。所设 5 m × 5 m 幼苗监测样方涵盖除高位山坡之外的所有生境类型。生境指示种用指示值和表示关联程度大小的物种-生境关联度 (r_{pb}) 表示, 根据 Dufrêne 和 Legendre (1997)、de Cáceres 和 Legendre (2009) 及 de Cáceres 等 (2010) 改进的指示种分析方法, 以不同生境组合为单元, 计算不同物种在不同生境单元中经过等价权重平衡后的指示值 (IndVal.g)。计算公式

如下:

$$\text{IndVal.g} = A.g \times B = \frac{\sum_{i \in C} \frac{a_i}{N_i}}{\sum_{i \in K} \frac{a_i}{N_i}} \times \frac{\sum_{i \in C} n_i}{\sum_{i \in C} N_i} \quad (7)$$

$$r_{pb} = \sqrt{\text{IndVal.g}} \quad (8)$$

其中, N 为幼苗样方数, N_i 为属于生境类型 i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) 的样方数, n 为目标物种出现的样方数, n_i 为其在生境类型 i 中出现的样方数, a 为目标种的多度, a_i 为生境类型 i 中的多度, K 为所有属于生境类型 k 的样方数, C 为属于某一特定的生境类型组合 C 的样方集合。指示值可以分为两个部分: $A.g$ 预测某物种可以作为某种生境组合的指示种的能力 (正相关程度), B 代表该目标物种在该生境中出现的频度。

本研究所有数据统计分析和制图均在 R 3.1.3 中进行, 所用的软件包主要有 vegan (Oksanen et al, 2013)、doBy、spaa、permute、indicspecies 等 (de Cáceres et al, 2010)。

2 结果

2.1 物种组成

在 285 个 5 m × 5 m 幼苗监测样方的首次调查中共记录到木本植物幼苗 138 种 20,581 株, 分属于 44 科 95 属。其中常绿树种 73 种, 占总物种数的 52.89%, 总重要值的 71.08%。不同物种幼苗个体数差异较大 (表 1; 附录 1)。甜槠的个体数最多并且分布广泛, 占总个体数的 19.97%, 出现在 96.69% 的样方中; 拟赤杨 (*Alniphyllum fortunei*) 共计 1,448 株, 分布于 157 个样方中, 分别占总样方数和总个体数的 57.72% 和 7.03%。

随着取样面积的不断扩大, 5 m × 5 m 幼苗监测样方的种-面积曲线在取样面积达到 0.40 ha (占总面积的 56.14%) 时, 包括了 131 个物种 (占 5 m × 5 m 幼苗样方总物种数的 95%), 样方总面积达到 0.71 ha 时, 曲线趋于平衡 (图 2)。由于 1 m × 1 m 幼苗样方取样总面积仅有 0.05 ha (占 5 m × 5 m 样方总面积的 7.11%), 其种-面积曲线未能达到平衡状态 (图 2)。

2.2 多样性分布格局

参照李立等 (2010) 对古田山乔冠层物种径级结构的划分标准, 将 24 ha 样地内非幼苗个体按 DBH 划分为 4 个等级, 并分别计算了不同取样强度下幼苗以及不同径级非幼苗个体的物种多样性指数 (表 2)。从幼苗到大树, 物种多样性总体呈现先高后低的趋势, 其中 5 m × 5 m 取样强度下幼苗整体的

表1 古田山5 m × 5 m幼苗监测样方主要物种重要值(IV)等基础信息
Table 1 The basic information of main species such as importance value (IV) in GTS 5 m × 5 m seedling plots

物种名 Species	科名 Family	个体数 No. of individuals	重要值 IV (%)	生活型 Life form
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	壳斗科 Fagaceae	4,110	24.85	常绿 Evergreen
拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	安息香科 Styracaceae	1,448	9.95	落叶 Deciduous
虎皮楠 <i>Daphniphyllum pentandrum</i>	虎皮楠科 Daphniphyllaceae	949	7.67	常绿 Evergreen
赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	桃金娘科 Myrtaceae	900	7.51	常绿 Evergreen
浙江新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>	樟科 Lauraceae	791	7.39	常绿 Evergreen
浙江红花油茶 <i>Camellia chekiangoleosa</i>	山茶科 Theaceae	783	7.25	常绿 Evergreen
柳叶蜡梅 <i>Chimonanthus nitens</i>	蜡梅科 Calycanthaceae	688	6.74	落叶 Deciduous
隔药枌 <i>Eurya muricata</i>	山茶科 Theaceae	625	6.04	常绿 Evergreen
毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	山茶科 Theaceae	536	5.31	常绿 Evergreen
矩形叶鼠刺 <i>Itea omeiensis</i>	虎耳草科 Saxifragaceae	583	4.80	常绿 Evergreen
石斑木 <i>Rhaphiolepis indica</i>	蔷薇科 Rosaceae	434	4.78	常绿 Evergreen
木荷 <i>Schima superba</i>	山茶科 Theaceae	545	4.76	常绿 Evergreen
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	杜鹃花科 Ericaceae	428	4.47	常绿 Evergreen
杨梅叶蚊母树 <i>Distylium myricoides</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	627	4.42	常绿 Evergreen
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	樟科 Lauraceae	293	3.93	常绿 Evergreen
总计 Total	—	20,581	200.00	—

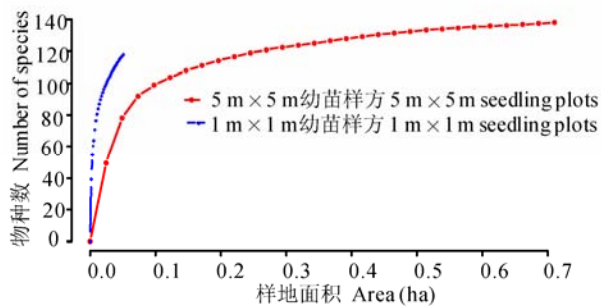


图2 古田山24 ha森林动态监测样地不同取样强度下幼苗的种-面积曲线
Fig. 2 Species-area relationship of seedlings under different sampling intensities in the 24 ha GTS forest dynamics plot

Shannon-Wiener多样性指数高达4.25, 高于1 m × 1 m取样强度下的幼苗多样性(4.03), 也显著高于24 ha大样地不同阶段(幼树到大树)群落的物种多样性(4.11–2.63, $P < 0.05$), 这与通过Rarefaction抽取各个径级层次1,000个个体预估的多样性以及物种数的总体趋势一致(表2)。此外, 生活史各阶段的Pielou均匀度指数没有显著差别。

5 m × 5 m取样强度下, 同一物种的幼苗多度随着非幼苗物种多度的增加而显著增加($r = 0.63$, $P < 0.001$, 图3), 但是斜率远小于1 ($b = 0.49$, $P < 0.001$), 表明样地内幼苗与非幼苗物种多度呈异速

增长关系, 幼苗个体增速小于非幼苗个体。和非幼苗阶段相比, 植物在幼苗阶段相对比较脆弱, 容易受到同种密度制约、生境过滤等生态过程的影响, 死亡率相对较高。

2.3 稀有种确定

古田山24 ha样地中存在大量稀有种, 个体数少于24株的物种有59种, 占总物种数的37.1% (祝燕等, 2008)。5 m × 5 m幼苗监测样方调查结果表明, 大样地水平(非幼苗阶段)的稀有种在幼苗阶段并非绝对稀有(图4), 山鸡椒(*Litsea cubeba*)、朱砂根(*Ardisia crenata*)、美丽胡枝子(*Lespedeza thunbergii* subsp. *formosa*)、乳源木莲(*Manglietia yuyuanensi*)、臭辣树(*Euodia fargesii*)、南酸枣(*Choerospondias axiliaris*)、掌叶覆盆子(*Rubus chingii*)、红紫珠(*Callicarpa rubella*)等8个物种在非幼苗阶段属于稀有种, 但在幼苗阶段属于常见种。例如, 朱砂根在24 ha大样地中的非幼苗个体仅有2株, 在幼苗中共有253株且分布广泛(占总样方的40.00%); 山鸡椒在大样地中的非幼苗个体共17株, 在幼苗中有296株且同样分布广泛(占总样方数的39.60%)。

2.4 生境类型及指示种分析

5 m × 5 m幼苗监测样方主要生境类型是低地山谷和低地山脊(表3), 这两种生境占幼苗样方总面

表2 古田山24 ha森林监测样地中幼苗与非幼苗的物种多样性比较
Table 2 Comparison of species diversity of seedling and non-seedling plots in the 24 ha GTS forest dynamics plot

类型 Type	物种数 No. of species	个体数 No. of individuals	Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	抽样 Rarefaction (<i>N</i> = 1,000)	Pielou均匀度指数 Pielou evenness index
幼苗样方 seedling plots					
1 m × 1 m幼苗样方 1 m × 1 m seedling plots	118	4,718	4.03	84.87	0.53
5 m × 5 m幼苗样方 5 m × 5 m seedling plots	138	20,581	4.25	89.22	0.49
非幼苗样方 Non-seedling plots					
1 cm ≤ DBH < 2.5 cm	144	70,916	4.11	71.83	0.42
2.5 cm ≤ DBH < 7.5 cm	132	45,524	4.05	72.23	0.43
7.5 cm ≤ DBH < 22.5 cm	115	17,835	3.81	66.70	0.42
DBH ≥ 22.5 cm	63	6,425	2.63	35.65	0.33

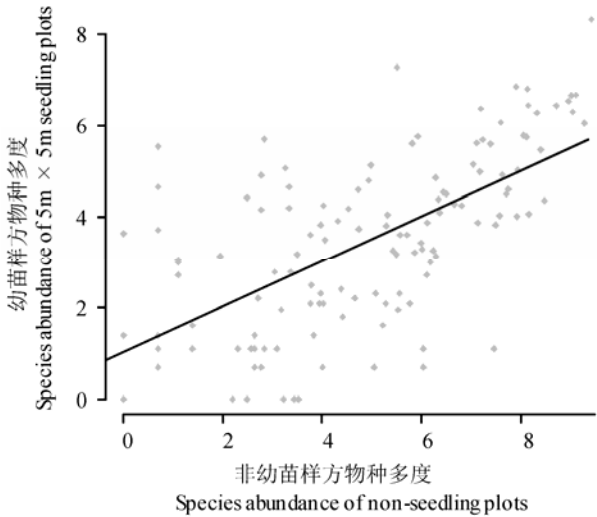


图3 古田山24 ha森林样地5 m × 5 m幼苗样方与非幼苗样方的物种多度对比图
Fig. 3 Comparison between the abundance of 5 m × 5 m seedling plots and non-seedling plots in the 24 ha GTS forest dynamics plot

积的87.36%。5 m × 5 m取样强度下幼苗的物种多样性空间分布不均匀, 沟谷地带的物种多样性较高, 每样方的Shannon-Wiener多样性指数达 2.65 ± 0.03 。山脊地带的多样性较低, 其中低地山脊和高地山脊每样方的Shannon-Wiener多样性指数分别为 2.05 ± 0.05 和 1.96 ± 0.09 。物种丰富度表现出与多样性不一致的格局, 幼苗物种数较高的样方主要集中在中位山坡生境中, 每样方中的物种数达 24.71 ± 2.06 种, 拥有的幼苗数量达 95.92 ± 16.77 棵, 这两项指数都要高于其余3类生境(表3)。

指示种分析结果表明, 在5 m × 5 m幼苗监测样

方中有13个物种(占总物种数的9.42%)与单一的生境类型密切相关, 可以作为某一生境类型的指示种: 其中低地山谷生境指示种最多(6种), 其次是中位山坡(4种)和高地山脊(3种), 而低地山脊没有明显的指示种(表4)。

3 讨论

3.1 取样强度对种-面积曲线以及物种多样性指数的影响

不同取样强度可能会对群落组成和多样性格局等造成影响(Dungan et al, 2002; Chen et al, 2013)。在以往有关森林幼苗阶段的生态学分析中, 多以种子雨收集器周围1 m × 1 m幼苗监测样方为研究对象, 在较大取样尺度上的幼苗研究相对较少(Bai et al, 2012; Lin et al, 2012)。本研究通过样方扩建, 将已有的幼苗监测样方从507 m²增加至7,125 m², 初步构建了覆盖古田山24 ha森林动态监测样地的林下幼苗监测网络。通过比较5 m × 5 m以及1 m × 1 m幼苗监测样方的种-面积曲线以及多样性水平, 发现随着取样面积的增加, 样方群落中生境异质性增加, 物种数先迅速增加后逐渐趋于稳定, 取样面积0.71 ha能够较好地代表古田山常绿阔叶林木本植物幼苗的物种组成和多样性, 5 m × 5 m幼苗监测样方中的物种多样性显著高于1 m × 1 m幼苗监测样方(表2)。与生境异质性较小的样地如BCI (Comita et al 2007)及长白山样地相比较(Bai et al, 2012), 古田山样地由于地形复杂, 海拔高差较大, 较大的幼苗取样强度才能包括更多的生境异质性, 更好地代表其林下木本植物幼苗的物种组成以及群落多样性

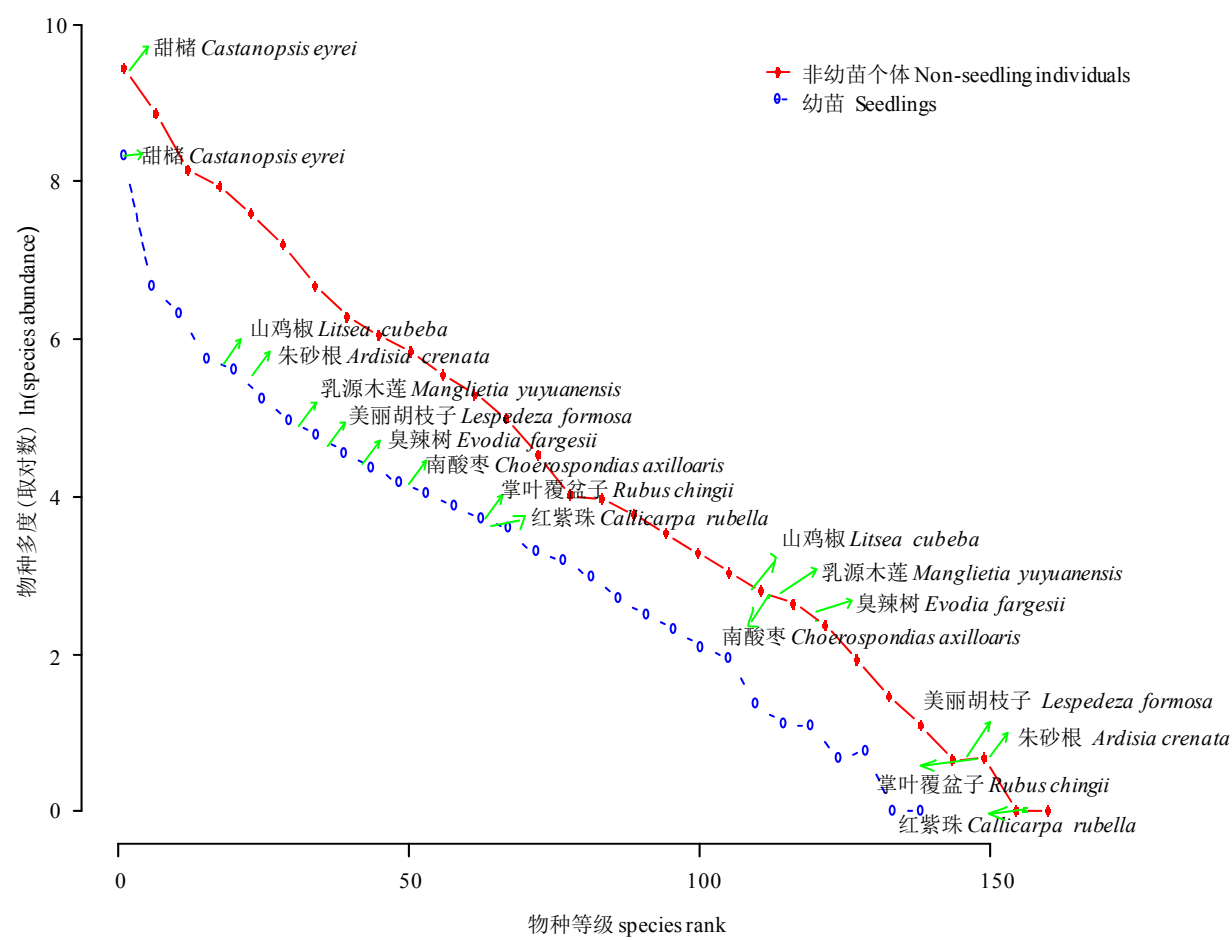


图4 古田山24 ha森林动态监测样地5 m × 5 m幼苗与非幼苗样方物种等级关系图
Fig. 4 Relationship of species rank between 5 m × 5 m seedling plots and non-seedling plots in the 24 ha GTS forest dynamics plot

表3 古田山5 m × 5 m幼苗样方不同生境内物种丰富度和多样性
Table 3 Richness and species diversity of seedlings in different habitat types in GTS 5 m × 5 m seedling plots

	低地山谷 Low valley	低地山脊 Low ridge	中位山坡 Middle slope	高地山脊 High ridge	整个样地 All types
样方数 No. of plots	127	122	14	22	285
幼苗数/样方数 No. of seedlings/No. of plots	83.74 ± 11.80	61.21 ± 9.69	95.92 ± 16.77	51.54 ± 8.03	72.21 ± 9.28
物种数/样方数 No. of species/No. of plots	22.22 ± 0.76	15.77 ± 0.73	24.71 ± 2.06	13.54 ± 1.04	18.92 ± 0.54
Shannon-Wiener指数/样方数 Shannon-Wiener index/ No. of plots	2.65 ± 0.03	2.05 ± 0.05	2.59 ± 0.09	1.96 ± 0.09	2.33 ± 0.33

格局(Kallimanis et al, 2008)。

3.2 负密度制约效应

Janzen-Connell假说认为, 专一性的病原菌能够使同种个体之间的相互损害程度远大于种间个体之间的损害, 从而导致同种负密度制约(Janzen 1970; Connell 1971)。本研究通过比较不同生活史阶

段树木的多样性, 发现多样性指数随着径级的增加呈现先高后低的趋势(表2)。这一格局与Webb等(2006)研究婆罗洲热带雨林样地内不同径级个体谱系多样性变化得出的结论一致, 表明负密度制约效应主要作用于树木生活史早期, 通过增加同种幼苗死亡率, 降低同种幼苗密度, 从而导致多样性指数

表4 古田山24 ha森林样地幼苗与非幼苗生境的指示种
Table 4 The indicator species in seedling and non-seedling plots in the 24 ha GTS forest dynamics plot

生境类型	1 m × 1 m 幼苗样方	5 m × 5 m幼苗样方	24 ha样地(非幼苗样方)
Habitat type	1 m × 1m seedling plots	5 m × 5 m seedling plots	24 ha forest dynamics plot (non-seedling plots)
低地山谷 Low valley	矩形叶鼠刺 <i>Itea omeiensis</i>	虎皮楠 <i>Daphniphyllum pentandrum</i>	浙江新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>
	杨梅叶蚊母树 <i>Distylium myricoides</i>	矩形叶鼠刺 <i>Itea omeiensis</i>	毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>
	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	—
	—	毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	—
	—	野漆树 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	—
中位山坡 Middle slope	—	浙江新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>	—
	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	浙江红花油茶 <i>Camellia chekiangoleosa</i>	—
	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	灰白蜡瓣花 <i>Corylopsis glandulifera</i>	—
	—	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	—
	—	北江堇花 <i>Wikstroemia monnula</i>	—
高位山坡 High slope	—	—	短柄枹 <i>Quercus serrata</i>
	—	—	毛果南烛 <i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>hebecarpa</i>
	—	—	满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>
高地山脊 High ridge	木荷 <i>Schima superba</i>	木荷 <i>Schima superba</i>	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>
	苦槠木 <i>Fraxinus insularis</i>	美丽胡枝子 <i>Lespedeza thunbergii</i> subsp. <i>formosa</i>	山榧 <i>Lindera reflexa</i>
	映山红 <i>Rhododendron simsii</i>	映山红 <i>Rhododendron simsii</i>	石灰花楸 <i>Sorbus folgneri</i>
	山榧 <i>Lindera reflexa</i>	—	山合欢 <i>Albizia kalkora</i>
	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	—	—

随径级的增加而增加；而在生活史晚期(成树阶段)，生境过滤起主导作用，更多稀有种个体被排除，从而导致多样性指数下降。此外，5 m × 5 m幼苗监测样方与大样地非幼苗物种多度的关联分析发现：幼苗与非幼苗个体物种多度间呈现异速增长关系，相关系数远小于1 ($b = 0.49$; $P < 0.001$)，说明同种或亲缘关系较近并且处于同一样方内的幼苗，更容易受到病原菌的侵害或种内资源竞争的影响，所以幼苗死亡率较高(Comita et al, 2007; 王薇等, 2014)。可见，在幼苗更新的过程中，负密度制约不仅是驱动热带森林林下幼苗动态的关键因子，在亚热带森林中也发挥了重要作用(Harms et al, 2000)。

3.3 幼苗监测样方稀有种分布

在大型森林动态样地研究中，1 ha面积内个体数不多于1株的物种被定义为稀有种(Hubbell & Foster, 1986)。稀有种种群规模虽然较小，受环境变化影响较大，在群落中的竞争力相对较弱，但是在某种程度上能起到平衡群落内部环境资源的重要作用(Bachelot et al, 2013)。大量研究表明，稀有种在

群落中所占比例极高，占古田山样地中群落总物种数的37.1% (祝燕等, 2008)、天童样地的36.20% (杨庆松等, 2011)、八大公山样地的43.28% (卢志军等, 2013)以及鼎湖山样地的52.38% (叶万辉等, 2008)。植物稀有性产生的原因多种多样，主要和物种本身特性、分布范围、生境异质性、森林类型、区系的交汇以及人为或自然干扰等相关(Bunyavejchewi et al, 2004; 叶万辉等, 2008)。但是基于大样地定义的稀有种数量明显受到取样强度的影响，由于大样地仅对DBH ≥ 1 cm的个体进行了监测，很多物种在DBH < 1 cm阶段仍然存在大量个体，基于DBH ≥ 1 cm定义的稀有种在幼苗阶段可能并不稀有。我们通过比较5 m × 5 m幼苗监测样方以及样地非幼苗个体物种多度排序结果，发现大样地内部分稀有种(如山鸡椒、朱砂根、美丽胡枝子等)在幼苗监测样方中分布较为广泛，并非真正稀有(图4)。这可能和不同物种生长发育特征密切相关，例如部分小灌木的胸径很少能超过1 cm，因此基于DBH ≥ 1 cm个体定义的稀有种可能并不准确，群落内稀有种所占

比例可能被高估。

3.4 生境类型与指示种分布

幼苗的定植与特定生境类型的选择作用密切相关, 有些物种可以作为某些生境的指示种或代表种(Cáceres et al, 2010)。5 m × 5 m幼苗监测样方指示种分析结果表明, 13种木本植物幼苗具有强烈的生境特化倾向(表4)。低地山谷主要分布喜湿及喜阴的物种, 例如矩形叶鼠刺(*Itea omeiensis*)、毛花连蕊茶(*Camellia fraterna*)、浙江新木姜子(*Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*)。低地山脊在样地内的分布很广, 却没有明显的指示种, 很多物种都可以在低地山脊生境中较好地生长。高地山脊水分资源相对较少, 环境胁迫较强, 广布着对于干扰抵抗力较强的物种, 如木荷、美丽胡枝子、映山红(*Rhododendron simsii*)等。该结果与Legendre等(2009)对24 ha大样地内非幼苗样方的生境指示种分析结果差异较大, 仅有2个物种(浙江新木姜子和毛花连蕊茶)在幼苗阶段和非幼苗阶段表征相同的生境关联。这可能是由于在幼苗定植过程中, 受各种环境过滤的影响较大, 大部分物种不容易成功定植所导致, 说明幼苗阶段的生态位分化和生境偏好不同于非幼苗阶段, 这可能与不同物种在不同发育阶段对环境的需求差异相关(赖江山, 2008)。与24 ha样地内1 m × 1 m幼苗样方指示种(田锴等, 2013)相比, 仅在低地山谷和高地山脊中有3个共同的指示种(矩形叶鼠刺、木荷、映山红), 推测在取样面积差别比较大的情况下, 随着取样面积的增大, 某些物种对于某类生境的适合度在逐渐增大, 而成为这类生境的特有指示种。由此可见, 对幼苗样方进行扩建能够帮助我们更好地揭示群落构建规律和多样性维持机制。

传统群落生态学对于幼苗的研究缺陷主要是取样面积过小, 取样物种数过少等。通过大型固定样地的建立以及其中5 m × 5 m幼苗监测样方的增设, 可以更好地研究邻体效应或边缘效应对物种多样性的影响, 更好地理解植物群落不同发育阶段生物多样性的维持机制。在植物的整个生活史中, 幼苗到幼树的阶段是群落中木本植物定植的瓶颈期, 是森林群落结构形成的关键时期。5 m × 5 m幼苗监测样方的设置将有助于对幼苗与非幼苗阶段群落特性与生物多样性维持过程进行更充分的比较, 这将为验证和发展当今生态学理论中的一些重要问题提供更好的平台。此外, 在调查的频次上, 每2年

一次的复查结果可进一步丰富野外监测数据, 在更大的空间和时间尺度上研究物种分化和扩散机制, 为生物多样性维持机制的研究提供更加广阔的思路。

致谢: 感谢浙江省古田山国家级自然保护区管理局对本项目给予的大力支持, 感谢为古田山24 ha大样地建设和调查付出艰辛努力的各位老师、同学和工人师傅。

参考文献

- Antos JA, Guest HJ, Parish R (2005) The tree seedling bank in an ancient montane forest: stress tolerators in a productive habitat. *Journal of Ecology*, 93, 536–543.
- Bachelot B, Kobe RK, Vesk P (2013) Rare species advantage? Richness of damage types due to natural enemies increases with species abundance in a wet tropical forest. *Journal of Ecology*, 101, 846–856.
- Bai XJ, Queenborough SA, Wang XG, Zhang J, Li BH, Yuan ZQ, Xing DL, Lin F, Ye J, Hao ZQ (2012) Effects of local biotic neighbors and habitat heterogeneity on tree and shrub seedling survival in an old-growth temperate forest. *Oecologia*, 170, 755–765.
- Bin Y, Lin GJ, Li BH, Wu LF, Shen Y, Ye WH (2012) Seedling recruitment patterns in a 20 ha subtropical forest plot: hints for niche-based processes and negative density dependence. *European Journal of Forest Research*, 131, 453–461.
- Bunyavejchewi S, Baker P, LaFrankie J, Ashton P (2004) Structure, history, and rarity in a seasonal evergreen forest in western Thailand. In: *Forest Diversity and Dynamism: Findings from a Network of Large-scale Tropical Forest Plots* (eds Losos EC, Leigh EG), pp. 145–158. University of Chicago Press, Chicago.
- Cáceres MD, Legendre P, Moretti M (2010) Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119, 1674–1684.
- Carson WP, Jill TA, Egbert GL, Schnitzer SA (2008) Challenges associated with testing and falsifying the Janzen-Connell hypothesis: a review and critique. In: *Tropical Forest Community Ecology* (eds Carson WP, Schnitzer SA), pp. 210–241. Wiley-Blackwell Publishing, Chichester.
- Chen GK, Kery M, Plattner M, Ma KP, Gardner B (2013) Imperfect detection is the rule rather than the exception in plant distribution studies. *Journal of Ecology*, 101, 183–191.
- Chen L, Mi XC, Comita LS, Zhang LW, Ren HB, Ma KP (2010) Community-level consequences of density dependence and habitat association in a subtropical broad-leaved forest. *Ecology Letters*, 13, 695–704.
- Chen ZH, Zhang DM, Lin FP (1996) Floristic and ecological studies of natural seedlings in the lower subtropical forest in

- Heishiding, Guangdong Province. *Acta Phytoecologica Sinica*, 20, 568–579. (in Chinese with English abstract) [陈章和, 张德明, 林丰平 (1996) 广东黑石顶南亚热带森林幼苗的区系和生态研究. *植物生态学报*, 20, 568–579.]
- Comita LS, Aguilar S, Pérez R, Lao S, Hubbell SP (2007) Patterns of woody plant species abundance and diversity in the seedling layer of a tropical forest. *Journal of Vegetation Science*, 18, 163–174.
- Condit R (1998) *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison With Other Plots*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Connell JH (1971) On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. In: *Dynamics of Number in Populations* (eds Boer PJ, Gradwell GR), pp. 298–310. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands.
- de Cáceres M, Legendre P (2009) Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90, 3566–3574.
- de Cáceres M, Legendre P, Moretti M (2010) Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119, 1674–1684.
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366.
- Dungan JL, Perry JN, Dale MRT, Legendre P, Citraon-Pousty S, Fortin MJ, Jakomulska A, Miriti M, Rosenberg MS (2002) A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography*, 25, 626–640.
- Goldsmith GR, Comita LS, Morefield LL, Condit R, Hubbell SP (2006) Long-term research impacts on seedling community structure and composition in a permanent forest plot. *Forest Ecology and Management*, 234, 34–39.
- Green PT, Harms KE, Connell JH (2014) Nonrandom, diversifying processes are disproportionately strong in the smallest size classes of a tropical forest. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 111, 18649–18654.
- Harms KE, Wright SJ, Calderón O, Hernández A, Herre EA (2000) Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature*, 404, 493–495.
- Heck KL Jr, van Belle G, Simberloff D (1975) Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology*, 56, 1459–1461.
- Hu ZH, Yu MJ, Ding BY, Fang T, Qian HY, Chen QC (2003) Types of evergreen broad-leaved forests and their species diversity in Gutian Mountain National Nature Reserve. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 9, 341–345. (in Chinese with English abstract) [胡正华, 于明坚, 丁炳扬, 方腾, 钱海源, 陈启瑞 (2003) 古田山国家级自然保护区常绿阔叶林类型及其群落物种多样性研究. *应用与环境生物学报*, 9, 341–345.]
- Hubbell SP, Foster RB (1986) Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: *Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity* (ed. Soule ME), pp. 205–231. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Hubbell SP, Dallmeier F, Comiskey J (1998) The maintenance of diversity in a neotropical tree community: conceptual issues, current evidence, and challenges ahead. In: *Forest Biodiversity Research, Monitoring and Modeling* (eds Dallmeier F, Comiskey JA), pp. 17–44. UNESCO, Paris.
- Hurlbert SH (1971) The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52, 577–586.
- Jansen PA, Visser MD, Joseph WS, Rutten G, Muller-Landau HC (2014) Negative density dependence of seed dispersal and seedling recruitment in a neotropical palm. *Ecology Letters*, 17, 11–20.
- Janzen DH (1970) Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist*, 104, 501–528.
- Jin Y, Chen JH, Mi XC, Ren HB, Ma KP, Yu MJ (2015) Impacts of the 2008 ice storm on structure and composition of an evergreen broad-leaved forest community in eastern China. *Biodiversity Science*, 23, 610–618. (in Chinese with English abstract) [金毅, 陈建华, 米湘成, 任海保, 马克平, 于明坚 (2015) 古田山24 ha森林动态监测样地常绿阔叶林群落结构和组成动态: 探讨2008年冰雪灾害的影响. *生物多样性*, 23, 610–618.]
- Kallimanis AS, Mazaris AD, Tzanopoulos J, Halley JM, Pantis JD, Sgardelis SP (2008) How does habitat diversity affect the species-area relationship? *Global Ecology and Biogeography*, 17, 532–538.
- Lai JS (2008) *Species Habitat Associations and Species Coexistence on Evergreen Broadleaved Forest in Gutianshan, Zhejiang*. PhD dissertation, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing. (in Chinese with English abstract) [赖江山 (2008) 古田山常绿阔叶林物种生境关联及其对物种共存的贡献. 博士学位论文, 中国科学院植物研究所, 北京.]
- Lambers JHR, Clark JS, Beckage B (2002) Density-dependent mortality and the latitudinal gradient in species diversity. *Nature*, 417, 732–735.
- Lebrija-Trejos E, Pérez-García EA, Meave JA, Bongers F, Poorter L (2010) Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. *Ecology*, 91, 386–398.
- Legendre P, Mi XC, Ren HB, Ma KP, Yu MJ, Sun YF, He FL (2009) Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. *Ecology*, 90, 663–674.
- Li L, Chen JH, Ren HB, Mi XC, Yu MJ, Yang B (2010) Spatial patterns of *Castanopsis eyrei* and *Schima superba* in mid-subtropical broad-leaved evergreen forest in Gutian Mountain National Reserve, China. *Chinese Journal of Plant*

- Ecology, 34, 241–252. (in Chinese with English abstract) [李立, 陈建华, 任海保, 米湘成, 于明坚, 杨波 (2010) 古田山常绿阔叶林优势树种甜槠和木荷的空间格局分析. 植物生态学报, 34, 241–252.]
- Lin LX, Comita LS, Zheng Z, Cao M (2012) Seasonal differentiation in density-dependent seedling survival in a tropical rain forest. *Journal of Ecology*, 100, 905–914.
- Lou LH, Jin SH (2000) Spermatophyta flora of Gutianshan Nature Reserve in Zhejiang. *Journal of Beijing Forestry University*, 22(5), 33–39. (in Chinese with English abstract) [楼焱煊, 金水虎 (2000) 浙江古田山自然保护区种子植物区系分析. 北京林业大学学报, 22(5), 33–39.]
- Lu ZJ, Bao DC, Guo YL, Lu JM, Wang QG, He D, Zhang KH, Xu YZ, Liu HB, Meng HJ, Huang HD, Wei XZ, Liao JX, Qiao XJ, Jiang MX, Gu ZR, Liao CL (2013) Community composition and structure of Badagongshan forest dynamic plot in a mid-subtropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, central China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 31, 336–344. (in Chinese with English abstract) [卢志军, 鲍大川, 郭屹立, 路俊盟, 王庆刚, 何东, 张奎汉, 徐耀粘, 刘海波, 孟红杰, 黄汉东, 魏新增, 廖建雄, 乔秀娟, 江明喜, 谷志容, 廖春林 (2013) 八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构. 植物生态学报, 31, 336–344.]
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 178–185.
- Mi XC, Swenson NG, Valencia R, Kress WJ, Erickson DL, Perez AJ, Ren HB, Su SH, Gunatilleke N, Gunatilleke S, Hao ZQ, Ye WH, Cao M, Suresh HS, Dattaraja HS, Sukumar R, Ma KP (2012) The contribution of rare species to community phylogenetic diversity across a global network of forest plots. *The American Naturalist*, 180, 17–30.
- Muscarella R, Uriarte M, Forero-Montaña J, Comita LS, Swenson NG, Thompson J, Nyth CJ, Jonckheere I, Zimmerman JK, Zuidema P (2013) Life-history trade-offs during the seed-to-seedling transition in a subtropical wet forest community. *Journal of Ecology*, 101, 171–182.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre PR, O'Hara R, Simpson GL, Solymos P, Stevens MH, Wagner H (2013) *Vegan: community ecology package*. R package version 2.0–10. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. (accessed on 2015-10-15)
- Paine C, Norden N, Chave J, Forget PM, Fortunel C, Dexter KG, Baraloto C (2012) Phylogenetic density dependence and environmental filtering predict seedling mortality in a tropical forest. *Ecology Letters*, 15, 34–41.
- Paine CT, Harms KE (2009) Quantifying the effects of seed arrival and environmental conditions on tropical seedling community structure. *Oecologia*, 160, 139–150.
- Parent S, Simard MJ, Morin H, Messier C (2003) Establishment and dynamics of the balsam fir seedling bank in old forests of northeastern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 597–603.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. Wiley, New York.
- Shannon CE (1948) A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 623–656.
- Song YC, Yan ER, Song K (2015) Synthetic comparison of eight dynamics plots in evergreen broadleaf forests, China. *Biodiversity Science*, 23, 139–148. (in Chinese with English abstract) [宋永昌, 闫恩荣, 宋坤 (2015) 中国常绿阔叶林 8 大动态监测样地植被的综合比较. 生物多样性, 23, 139–148.]
- Song YC, Chen XY, Wang XH (2005) Studies on evergreen broad-leaved forests of China: retrospect and prospect. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, (1), 1–8. (in Chinese with English abstract) [宋永昌, 陈小勇, 王希华 (2005) 中国常绿阔叶林研究的回顾与展望. 华东师范大学学报(自然科学版), (1), 1–8.]
- Svenning JC, Wright SJ (2005) Seed limitation in a Panamanian forest. *Journal of Ecology*, 93, 853–862.
- Szwagrzyk J, Szewczyk J, Bodziarczyk J (2001) Dynamics of seedling banks in beech forest: results of a 10-year study on germination, growth and survival. *Forest Ecology and Management*, 141, 237–250.
- Tian K, Chen L, Mi XC, Ma KP, Chen JH (2013) The effect of habitat filtering on tree seedling distribution in a subtropical evergreen broadleaf forest in China. *Chinese Science Bulletin*, 58, 3561–3569. (in Chinese with English abstract) [田锴, 陈磊, 米湘成, 马克平, 陈建华 (2013) 亚热带常绿阔叶林木本植物幼苗分布格局及其对生境过滤的响应. 科学通报, 58, 3561–3569.]
- Ugland KI, Ellingsen KE (2003) The species-accumulation curve of estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology*, 72, 888–897.
- Wang XG, Wiegand T, Wolf A, Howe R, Davies SJ, Hao ZQ (2011) Spatial patterns of tree species richness in two temperate forests. *Journal of Ecology*, 99, 1382–1393.
- Webb CO, Gilbert GS, Donoghue MJ (2006) Phylodiversity-dependent seedling mortality, size structure, and disease in a Bornean rain forest. *Ecology*, 87, 123–131.
- Wu ZY (1980) *Vegation of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1980) 中国植被. 科学出版社, 北京.]
- Yang QS, Ma ZP, Xie YB, Zhang ZG, Wang ZH, Liu HM, Li P, Zhang N, Wang DL, Yang HB, Fang XF, Yan ER, Wang XH (2011) Community structure and species composition of an evergreen broadleaved forest in Tiantong's 20 ha dynamic plot, Zhejiang Province, eastern China. *Biodiversity Science*, 19, 215–223. (in Chinese with English abstract) [杨庆松, 马遵平, 谢玉彬, 张志国, 王樟华, 刘何铭, 李萍, 张娜, 王达力, 杨海波, 方晓峰, 闫恩荣, 王希华 (2011) 浙江天童 20 ha 常绿阔叶林动态监测样地的群落特征. 生物多样性, 19, 215–223.]

- Ye WH, Cao HL, Huang ZL, Lian JY, Wang ZG, Li L, Wei SG, Wang ZM (2008) Community structure of a 20 ha lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 274–286. (in Chinese with English abstract) [叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练琚愉, 王志高, 李林, 魏识广, 王章明 (2008) 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林20公顷样地群落特征研究. *植物生态学报*, 32, 274–286.]
- Zhu Y, Zhao GF, Zhang LW, Shen GC, Mi XC, Ren HB, Yu MJ, Chen JH, Chen SW, Fang T, Ma KP (2008) Community composition and structure of Gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 262–273. (in Chinese with English abstract) [祝燕, 赵谷风, 张俪文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 于明坚, 陈建华, 陈声文, 方腾, 马克平 (2008) 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地—群落组成与结构. *植物生态学报*, 32, 262–273.]

(责任编辑: 王绪高 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 古田山24 ha样地5 m × 5 m幼苗监测样方物种名录及个体数

Appendix 1 Species checklist and number of individuals of 5 m × 5 m seedling plots in the 24 ha Gutianshan (GTS) forest dynamics plot

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2015341-1.pdf>

郭印, 王云泉, 陈磊, 米湘成, 任海保, 陈声文, 陈建华. 不同取样强度下古田山木本植物幼苗组成及其分布格局比较. 生物多样性, 2016, 24 (10): 1093–1104.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2015341>

附表1 古田山24 ha样地5 m × 5 m幼苗监测样方物种名录及个体数

Appendix 1 Species checklist and number of individuals of 5 m × 5 m seedling plots in the 24 ha Gutianshan (GTS) forest dynamics plot

物种 Species	拉丁种名 Scientific name	中文科名 Chinese family name	拉丁科名 Family name	个体数 No. of individuals
甜槠	<i>Castanopsis eyrei</i>	壳斗科	Fagaceae	4110
拟赤杨	<i>Alniphyllum fortunei</i>	安息香科	Styracaceae	1448
虎皮楠	<i>Daphniphyllum oldhamii</i>	虎皮楠科	Daphniphyllaceae	949
赤楠	<i>Syzygium buxifolium</i>	桃金娘科	Myrtaceae	900
浙江新木姜子	<i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>	樟科	Lauraceae	791
浙江红花油茶	<i>Camellia chekiangoleosa</i>	山茶科	Theaceae	783
柳叶蜡梅	<i>Chimonanthus salicifolius</i>	蜡梅科	Calycanthaceae	688
杨梅叶蚊母树	<i>Distylium myricoides</i>	金缕梅科	Hamamelidaceae	627
隔药枏	<i>Eurya muricata</i>	山茶科	Theaceae	625
矩形叶鼠刺	<i>Itea chinensis</i>	虎耳草科	Saxifragaceae	583
木荷	<i>Schima superba</i>	山茶科	Theaceae	545
毛花连蕊茶	<i>Camellia fraterna</i>	山茶科	Theaceae	536
石斑木	<i>Raphiolepis indica</i>	蔷薇科	Rosaceae	434
马银花	<i>Rhododendron ovatum</i>	杜鹃花科	Ericaceae	428
厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	山茶科	Theaceae	323
细叶青冈	<i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	壳斗科	Fagaceae	315
灰白蜡瓣花	<i>Corylopsis glandulifera</i>	金缕梅科	Hamamelidaceae	311
山鸡椒	<i>Litsea cubeba</i>	樟科	Lauraceae	296
红楠	<i>Machilus thunbergii</i>	樟科	Lauraceae	293
栲树	<i>Castanopsis fargesii</i>	壳斗科	Fagaceae	273
野漆树	<i>Toxicodendron succedaneum</i>	漆树科	Anacardiaceae	270
青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i>	壳斗科	Fagaceae	267
朱砂根	<i>Ardisia crenata</i>	紫金牛科	Myrsinaceae	253
欒木	<i>Loropetalum chinensis</i>	金缕梅科	Hamamelidaceae	235
红枝柴	<i>Meliosma oldhamii</i>	清风藤科	Sabiaceae	171
白花苦灯笼	<i>Tarenna mollissima</i>	茜草科	Rubiaceae	168
小果冬青	<i>Ilex micrococca</i>	冬青科	Aquifoliaceae	158
鹿角杜鹃	<i>Rhododendron latoucheae</i>	杜鹃花科	Ericaceae	151
石栎	<i>Lithocarpus glaber</i>	壳斗科	Fagaceae	146
马尾松	<i>Pinus massoniana</i>	松科	Pinaceae	136
乳源木莲	<i>Manglietia yuyuanensis</i>	木兰科	Magnoliaceae	135
郁香野茉莉	<i>Styrax odoratissimus</i>	安息香科	Styracaceae	128
花椒勒	<i>Zanthoxylum scandens</i>	芸香科	Rutaceae	126
浙江柿	<i>Diospyros glaucifolia</i>	柿科	Ebenaceae	121
山桐子	<i>Idesia polycarpa</i>	大风子科	Flacourtiaceae	105
美丽胡枝子	<i>Lespedeza formosa</i>	豆科	Leguminosae	105
乌饭	<i>Vaccinium bracteatum</i>	杜鹃花科	Ericaceae	100
垂珠花	<i>Styrax dasyanthus</i>	安息香科	Styracaceae	99
老鼠矢	<i>Symplocos stellaris</i>	山矾科	Symplocaceae	94
江南越桔	<i>Vaccinium mandarinorum</i>	杜鹃花科	Ericaceae	90
黄瑞木	<i>Adinandra millettii</i>	山茶科	Theaceae	90
臭辣树	<i>Euodia fargesii</i>	芸香科	Rutaceae	83

物种 Species	拉丁种名 Scientific name	中文科名 Chinese family name	拉丁科名 Family name	个体数 No. of individuals
杜英	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	杜英科	Elaeocarpaceae	80
映山红	<i>Rhododendron simsii</i>	杜鹃花科	Ericaceae	78
光叶石楠	<i>Photinia glabra</i>	蔷薇科	Rosaceae	72
北江茺花	<i>Wikstroemia monnula</i>	瑞香科	Thymelaeaceae	70
杨梅	<i>Myrica rubra</i>	杨梅科	Myricaceae	70
大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	马鞭草科	Verbenaceae	66
狗骨柴	<i>Diplospora dubia</i>	茜草科	Rubiaceae	65
南酸枣	<i>Choerospondias axillaris</i>	漆树科	Anacardiaceae	64
豹皮樟	<i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	樟科	Lauraceae	60
短柄枹	<i>Quercus serrata</i>	壳斗科	Fagaceae	58
梔子	<i>Gardenia jasminoides</i>	茜草科	Rubiaceae	57
细叶香桂	<i>Cinnamomum subavenium</i>	樟科	Lauraceae	56
窄基红褐柃	<i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	山茶科	Theaceae	55
海南槽裂木	<i>Pertusadina hainanensis</i>	茜草科	Rubiaceae	50
美丽马醉木	<i>Pieris formosa</i>	杜鹃花科	Ericaceae	48
山合欢	<i>Albizia kalkora</i>	豆科	Leguminosae	48
短尾越桔	<i>Vaccinium carlesii</i>	杜鹃花科	Ericaceae	46
山榲	<i>Lindera reflexa</i>	樟科	Lauraceae	46
白背麸杨	<i>Rhus hypoleuca</i>	漆树科	Anacardiaceae	45
野鸦椿	<i>Euscaphis japonica</i>	省沽油科	Staphyleaceae	42
掌叶覆盆子	<i>Rubus chingii</i>	蔷薇科	Rosaceae	41
红紫珠	<i>Callicarpa rubella</i>	马鞭草科	Verbenaceae	38
冬青	<i>Ilex chinensis</i>	冬青科	Aquifoliaceae	37
黄檀	<i>Dalbergia hupeana</i>	豆科	Leguminosae	37
刺叶桂樱	<i>Prunus spinulosa</i>	蔷薇科	Rosaceae	37
中国绣球	<i>Hydrangea chinensis</i>	虎耳草科	Saxifragaceae	33
矮茎紫金牛	<i>Ardisia brevicaulis</i>	紫金牛科	Myrsinaceae	32
厚叶冬青	<i>Ilex elmerrilliana</i>	冬青科	Aquifoliaceae	31
虎刺	<i>Damnacanthus indicus</i>	茜草科	Rubiaceae	28
榕叶冬青	<i>Ilex ficoidea</i>	冬青科	Aquifoliaceae	27
薯豆	<i>Elaeocarpus japonicus</i>	杜英科	Elaeocarpaceae	26
苦枥木	<i>Fraxinus insularis</i>	木犀科	Oleaceae	26
宜昌莢蒾	<i>Viburnum erosum</i>	忍冬科	Caprifoliaceae	25
毛八角枫	<i>Alangium kurzii</i>	八角枫科	Alangiaceae	24
野含笑	<i>Michelia skinneriana</i>	木兰科	Magnoliaceae	24
紫果槭	<i>Acer cordatum</i>	槭树科	Aceraceae	23
小叶青冈	<i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i>	壳斗科	Fagaceae	23
岭南花椒	<i>Zanthoxylum austrosinense</i>	芸香科	Rutaceae	21
白背叶	<i>Mallotus apelta</i>	大戟科	Euphorbiaceae	20
红淡比	<i>Cleyera japonica</i>	山茶科	Theaceae	20
紫珠	<i>Callicarpa bodinieri</i>	马鞭草科	Verbenaceae	20
尖连蕊茶	<i>Camellia cuspidata</i>	山茶科	Theaceae	16
豆腐柴	<i>Premna microphylla</i>	马鞭草科	Verbenaceae	16
黄绒润楠	<i>Machilus grijsii</i>	樟科	Lauraceae	15
醉鱼草	<i>Buddleja lindleyana</i>	马钱科	Loganiaceae	15
海州常山	<i>Clerodendrum trichotomum</i>	马鞭草科	Verbenaceae	15
大叶白纸扇	<i>Mussaenda shikokiana</i>	茜草科	Rubiaceae	13
黄丹木姜子	<i>Litsea elongata</i>	樟科	Lauraceae	12
小构树	<i>Broussonetia kazinoki</i>	桑科	Moraceae	12
大叶冬青	<i>Ilex latifolia</i>	冬青科	Aquifoliaceae	11

物种 Species	拉丁种名 Scientific name	中文科名 Chinese family name	拉丁科名 Family name	个体数 No. of individuals
小槐花	<i>Ohwia caudata</i>	豆科	Leguminosae	11
罗浮柿	<i>Diospyros morrisina</i>	柿科	Ebenaceae	10
钩栲	<i>Castanopsis tibetana</i>	壳斗科	Fagaceae	10
光萼林檎	<i>Malus leiocalyca</i>	蔷薇科	Rosaceae	10
毛冬青	<i>Ilex pubescens</i>	冬青科	Aquifoliaceae	9
楸木	<i>Aralia chinensis</i>	五加科	Araliaceae	9
铁冬青	<i>Ilex rotunda</i>	冬青科	Aquifoliaceae	8
猴欢喜	<i>Sloanea sinensis</i>	杜英科	Elaeocarpaceae	8
浙江樟	<i>Cinnamomum chekiangense</i>	樟科	Lauraceae	8
海金子	<i>Pittosporum illicioides</i>	海桐花科	Pittosporaceae	8
山矾	<i>Symplocos sumuntia</i>	山矾科	Symplocaceae	8
薄叶山矾	<i>Symplocos anomala</i>	山矾科	Symplocaceae	7
黄果朴	<i>Celtis biondii</i>	榆科	Ulmaceae	7
米槠	<i>Castanopsis carlesii</i>	壳斗科	Fagaceae	6
檫木	<i>Sassafras tzumu</i>	樟科	Lauraceae	5
宁波木犀	<i>Osmanthus cooperi</i>	木犀科	Oleaceae	5
矩叶卫矛	<i>Euonymus oblongifolius</i>	卫矛科	Celastraceae	4
木油桐	<i>Vernicia montana</i>	大戟科	Euphorbiaceae	4
刨花楠	<i>Machilus pauhoi</i>	樟科	Lauraceae	4
浙闽樱	<i>Cerasus schneideriana</i>	蔷薇科	Rosaceae	4
华杜英	<i>Elaeocarpus chinensis</i>	杜英科	Elaeocarpaceae	3
满山红	<i>Rhododendron mariesii</i>	杜鹃花科	Ericaceae	3
算盘子	<i>Glochidion puberum</i>	大戟科	Euphorbiaceae	3
青灰叶下珠	<i>Phyllanthus glaucus</i>	大戟科	Euphorbiaceae	3
酸味子	<i>Antidesma japonicum</i>	大戟科	Euphorbiaceae	3
光叶毛果枳椇	<i>Hovenia trichocarpa</i> var. <i>robusta</i>	鼠李科	Rhamnaceae	3
石灰花楸	<i>Sorbus folgeneri</i>	蔷薇科	Rosaceae	3
石楠	<i>Photinia serrulata</i>	蔷薇科	Rosaceae	3
鸡仔木	<i>Sinoadina racemosa</i>	茜草科	Rubiaceae	3
山油麻	<i>Trema cannabina</i> var. <i>dielsiana</i>	榆科	Ulmaceae	3
木姜叶冬青	<i>Ilex litseifolia</i>	冬青科	Aquifoliaceae	2
香冬青	<i>Ilex suaveolens</i>	冬青科	Aquifoliaceae	2
毛果南烛	<i>Lyonia ovalifolia</i>	杜鹃花科	Ericaceae	2
黄山木兰	<i>Yulania cylindrica</i>	木兰科	Magnoliaceae	2
杜茎山	<i>Maesa japonica</i>	紫金牛科	Myrsinaceae	2
日本粗叶木	<i>Lasianthus japonicus</i> subsp. <i>japonicus</i>	茜草科	Rubiaceae	2
老鸦糊	<i>Callicarpa giraldii</i>	马鞭草科	Verbenaceae	2
盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>	漆树科	Anacardiaceae	1
尾叶冬青	<i>Ilex wilsonii</i>	冬青科	Aquifoliaceae	1
水马桑	<i>Weigela japonica</i>	忍冬科	Caprifoliaceae	1
中华石楠	<i>Photinia beauverdiana</i>	蔷薇科	Rosaceae	1
山黄皮	<i>Aidia cochinchinensis</i>	茜草科	Rubiaceae	1
垂枝泡花树	<i>Meliosma flexuosa</i>	清风藤科	Sabiaceae	1
中国旌节花	<i>Stachyurus chinensis</i>	旌节花科	Stachyuraceae	1
密花梭罗树	<i>Reevesia pycnantha</i>	梧桐科	Sterculiaceae	1
浆果楸	<i>Tilia endochrysea</i>	椴树科	Tiliaceae	1

• 研究报告 •

喜马拉雅地区藤本植物多样性及其地理格局

胡 亮*

(中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

摘要: 喜马拉雅山地是生物地理学研究的热点地区之一。本文对喜马拉雅地区的藤本植物多样性及其与毗邻地区的联系进行了统计分析, 并对该地区与印度河–恒河平原地区藤本植物多样性的地理格局及其成因进行了研究。结果显示: (1)喜马拉雅地区总计有1,083种藤本植物, 分属72科309属; 其中木质藤本725种, 草质藤本358种; 攀援方式主要为缠绕攀援(51.3%)。 (2)该区域的藤本植物组成受相邻区域植物区系的显著影响, 其1,083种藤本植物中有74.1% (802种)在东南亚地区有分布, 50.6% (548种)在南亚有分布, 48.9% (530种)在中国西南地区有分布。本区藤本植物缺乏特有性, 仅125种(11.5%)为本区所特有, 没有特有含藤属。 (3)藤本植物多样性及其在植物区系中的比例均自东向西逐渐降低; 木质藤本比例和缠绕攀援藤本比例均自东向西略呈上升趋势; 大多数含藤属的藤本多样性由东往西递减, 仅极少数含藤属由东往西逐渐增加, 如野豌豆属(*Vicia*)和菟丝子属(*Cuscuta*)。 (4)藤本植物多样性在喜马拉雅和印度河–恒河平原地区呈现出自东向西递减的相似格局, 由东往西方向上含藤属递减率分别为8.4属/100 km和6.3属/100 km, 但喜马拉雅地区藤本植物多样性更高。喜马拉雅和印度河–恒河平原地区均有分布的272个含藤属中有196属在中亚及伊朗高原不再有分布, 其中31.1% (61属)在喜马拉雅地区的分布显著更偏西, 仅4.1% (8属)在印度河–恒河平原的分布显著更偏西。综合分析表明, 喜马拉雅地区藤本植物的多样性及其地理格局的特点与其特殊的地理位置、气候条件和生境的梯度变化以及毗邻地区植物区系的多元化有关; 水分条件的东西向梯度变化可能是藤本植物在喜马拉雅和印度河–恒河平原地区形成相似格局的主要原因。

关键词: 木质藤本; 草质藤本; 攀援方式; 喜马拉雅地区; 印度河–恒河平原

Diversity and distribution patterns of climbing plants in the Himalayan region

Liang Hu*

Geography and Planning School, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275

Abstract: The Himalayas are a biodiversity hotspot. In this study, the taxonomic diversity of climbing plants in the Himalayan region and its connection with neighbouring regions were analyzed, the distribution patterns of climbers in the Himalayas and the Indo-Gangetic Plain were compared, and mechanisms were discussed. Results showed that: (1) The Himalayan region harbored a total of 1,083 climbing species in 309 genera and 72 families. Approximately 66.9% (725 species) of these species were woody or semi-woody climbers (lianas) and the remaining 33.1% (358 species) were herbaceous (vines). Twining climbers accounted for 51.3% of the climbing plants in this region. (2) The climbing plant flora in the Himalayas was significantly affected by neighboring floras. About 74.1% (802 species) of the climbers in the Himalayas were also found in Southeast Asia, 548 species (50.6%) were found in South Asia, and 530 species (48.9%) were found in Southwest China. Only 125 climbers (11.5%) were endemic to this region and no endemic genus was recorded. (3) Species diversity of climbing plants and their proportion in the flora gradually decreased from east to west in the Himalayas. Twining climbers and lianas became more dominant in the western regions. At the genus level, species diversity of most climber-rich genera decreased westward across the Himalayas and species diversity of only a few genera (e.g. *Vicia* and *Cuscuta*) showed an increase from east to west. (4) The distribution patterns of climbing plants in the Himalayas and the Indo-Gangetic Plain were consistent. However, species diversity was higher in the

收稿日期: 2016-08-17; 接受日期: 2016-10-19

基金项目: 国家自然科学基金(41101057)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: huliang_hy@163.com

Himalayas and its decreasing trend westward was more significant. At the genus level, the average decreasing rate of climber-containing genera from east to west is 8.4 genera per 100 km in the Himalayas and 6.3 genera per 100 km in the Indo-Gangetic Plain. A total of 272 climber-containing genera in the Himalayas were shared with the Indo-Gangetic Plain, and 196 genera were not found in the west regions (Central Asia and Iranian plateau). In the 196 genera, 61 genera (31.1%) were distributed more to the west in the Himalayas than in the Indo-Gangetic Plain, while only 8 genera (4.1%) were distributed more to the west in the Indo-Gangetic Plain than in the Himalayas. In conclusion, species diversity and distributional characteristics of climbers in the Himalayas were attributed in part to the geographical location of this region, the altitudinal and longitudinal gradients of climate and habitats, and the diversification of adjacent floras. The similarities of the distribution patterns of climbing plants in the Himalayas and the Indo-Gangetic Plain may be primarily due to similar east-west water gradients.

Key words: liana; vine; climbing method; Himalayan region; Indo-Gangetic Plain

山地往往在相对较小的距离内,因垂直梯度变化而呈现出比低地、平原更为多样化的气候条件和微生境,有利于物种的生存,因而物种多样性往往更为丰富(McCain & Grytnes, 2010; Spehn et al, 2010)。全球植物多样性中心包括许多山地,如热带亚热带安第斯山脉、高加索山脉、中国西南山地等(Myers et al, 2000; Spehn et al, 2010)。喜马拉雅山脉也是全球植物多样性热点地区之一,长期以来因其物种多样性、特有性以及地理格局而备受关注。由于其独特的地理位置及周围毗邻地区生态环境的显著差异,喜马拉雅植物区系包含了许多不同的地理成分:东亚成分,马来-缅甸成分,中国-日本成分,欧洲-地中海成分,非洲成分,西伯利亚成分等(Singh & Singh, 1987; Hajra et al, 1996)。在南北方向上,其植物区系和植被景观呈现出明显的垂直地带性。例如,在喜马拉雅东部地区,从低地到高山依次发育着热带雨林,热带季雨林,常绿阔叶林,常绿针叶林,落叶针叶林,落叶阔叶林,亚高山常绿针叶林,高山灌丛和草甸等植被类型;植物区系中的热带成分在低海拔地区占优势,东亚成分则在亚高山和高山地带起主导作用(李恒和武素功, 1983; Hajra et al, 1996)。在东西方向上,由于更新世的冰期对于喜马拉雅东部影响有限,东部的环境在整个地质时期都保持相对比较稳定的状态,其物种多样性比喜马拉雅西部更为丰富。东西方向上绵延2,500 km连续而渐变的气候和生境,使得各种地理成分和生活型的物种均能够在该地区找到适宜的分布区。

同其他许多生物类群一样,藤本植物多样性整体上也在喜马拉雅地区呈现出明显的东西向变化趋势(Srinivasan et al, 2014; Hu & Li, 2015; Thakur & Negi, 2015)。藤本植物是热带亚热带森林物种多样

性的重要组分,在热带植物区系中其物种组成极为丰富,在亚热带植物区系中亦占有十分重要的地位,而在温带森林植物区系中所占比例不高(Gentry, 1991; Hu et al, 2010; 胡亮, 2011; Hu & Li, 2015)。因藤本植物通常导管更粗,受低温和干旱胁迫的影响程度远比非藤本植物要大,故普遍认为水热条件对藤本植物地理分布的影响极为显著(Clinebell et al, 1995; Molina-Freaner et al, 2004; Schnitzer, 2005; Hu et al, 2010)。喜马拉雅地区主体部分纬度跨度不大,但初步研究显示藤本植物多样性在其东西方向上的变化比东亚同纬度范围内的其他地区更明显(Hu & Li, 2015);推测这与喜马拉雅地区降雨的东西向梯度变化以及毗邻植物区系的特点有关。目前,仅有少量研究针对喜马拉雅地区藤本植物的地理格局,且都是从垂直地带性的角度加以探讨(Tanaka et al, 1983; Rawal & Pangtey 1991; Barik et al, 2015),而对整个喜马拉雅地区的藤本植物区系特点及其东西方向上的地理格局未见报道。

本文对喜马拉雅南坡地区种子植物区系中藤本植物的组成、生活型和攀援方式的多样性进行了统计分析,并从整体上对该地区与毗邻的东南亚、南亚、中国西南、伊朗高原和中亚地区藤本植物区系进行了比较。通过对藤本植物多样性及其组分由东向西的梯度变化以及与印度河-恒河平原地区变化趋势的比较,探讨了喜马拉雅地区藤本植物的地理格局及其成因。

1 研究方法

1.1 研究对象及其生态类型划分

本文所指藤本植物(或攀援植物)为广义的藤本

植物,指能通过缠绕、卷须、吸器或蔓延搭靠等方式依附于其他植物体实现纵向攀援生长,并能超过自身在无外界支持物条件下伸长极限的植物。本文将在研究区域内至少含有一种藤本植物的科或属特称为含藤科或含藤属,在论及这些科属及其地理分布时不包括相应科属中的非藤本植物。参照胡亮等(2010),依据茎干质地将藤本分为草质藤本(vine)和木质藤本(liana);依据攀援方式及其对潜在可用支持物条件的利用特征将藤本归入缠绕藤本(twining climber)、卷须藤本(tendrillar climber)、吸附藤本(adhesive climber)和蔓生藤本(sprawling climber) 4大类。对兼有多种攀援方式的藤本,如具卷须则归入卷须类,无卷须但有不定根或吸器则归入吸附类,无以上特化器官但有明显缠绕行为的归入缠绕类,其他归入蔓生类。

1.2 数据来源与分析

藤本植物地理分布数据主要参考喜马拉雅及其相邻地区和国家的植物志、植物名录以及大量的研究专著和论文等区系资料汇编而成。科属系统参照 APG III (The Angiosperm Phylogeny Group, 2009)。根据 The Plant List (2013) 网络数据库 (<http://www.theplantlist.org/>) 对同物异名进行了校正, The Plant List 未收录的种名均根据较新的研究资料确定,少数涉及是否特有分布的关键类群均通过最新的分类学论文加以判断或修订。

本文中对地区和区段的划分不完全依照行政区划,某些地区或区段涉及多个行政区,为使文中表述简练,对这些地区或区段的实际范围和简称说明如下:本文研究的喜马拉雅地区包括东南段、不丹段、尼泊尔段、北阿肯德段、喜马偕尔段和克什米尔段6段。东南段主要包括我国西藏察隅、墨脱、错那、隆子4县;不丹段包括不丹、我国西藏亚东县以及印度锡金邦和大吉岭;尼泊尔段包括尼泊尔及我国西藏吉隆、聂拉木、定日、定结4县的一部分;北阿肯德、喜马偕尔段均与印度行政区划范围对应;克什米尔段包括巴控区和印控区。为揭示喜马拉雅地区藤本植物组成和毗邻地区的联系,将其与中国西南地区、东南亚地区、南亚地区、伊朗高原和中亚地区的藤本进行了比较。其中中国西南地区主要包括云南(除西双版纳)、四川、西藏昌都以及林芝北部;东南亚地区包括缅甸、泰国、老挝、越南、柬埔寨、云南西双版纳、印度东北部以及孟加拉国

的吉大港和锡尔赫特山地;南亚地区包括印度的绝大部分(除东北部及位于喜马拉雅的部分)、孟加拉国(除吉大港和锡尔赫特)、斯里兰卡以及巴基斯坦的平原部分;伊朗高原地区包括伊朗、阿富汗以及巴基斯坦的一部分;中亚地区包括哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦及新疆帕米尔高原。为了与喜马拉雅地区藤本植物的分布格局进行对比,我们还将印度河-恒河平原地区(含阿萨姆和梅加拉亚)进行了再划分,由东往西依次为阿萨姆段(含阿萨姆、梅加拉亚、孟加拉国吉大港和锡尔赫特)、孟加拉段(包括孟加拉国和印度西孟加拉的平原部分,不包括大吉岭、吉大港和锡尔赫特)、印度比哈尔邦、印度北方邦、印度哈里亚纳段(含印度旁遮普邦)、巴基斯坦北部6段。

2 结果

2.1 藤本植物多样性

喜马拉雅地区种子植物区系中藤本植物种类丰富。总计有72个含藤科309个含藤属1,083种藤本植物;分别占欧亚植物区系含藤科、属及藤本总种数的71.3%、38.2%和16.3%。其中双子叶植物62科288属984种,占总种数的90.9%;单子叶植物9科20属97种,占8.9%;裸子植物仅买麻藤科1属2种,占0.2%。

全区木质藤本共725种,占总种数的66.9%;草质藤本358种,占总种数的33.1%。在木质藤本所占的比例上,本区与毗邻的中国西南区(69.7%)比较接近,低于东南亚(76.9%)和南亚(74.4%),高于伊朗高原(23.2%)和中亚(18.7%)。

2.1.1 优势含藤科属

在科水平上,仅豆科和夹竹桃科在本区分布的藤本植物超过100种;旋花科、葫芦科和葡萄科的藤本均不低于50种。上述5科仅占本区含藤科总数的6.8%,但其所含藤本种数占本区藤本总种数的42.8%。藤本种类不低于20种的含藤科还有毛茛科、茜草科等10个科,共含藤本295种,占本区藤本总种数的27.2%;天南星科和菊科等13个科的藤本种类不低于10种,共占本区藤本总数的14.7%;使君子科和大戟科等17个科的藤本种类不低于5种,共占10.3%。余下27个含藤科的藤本数仅占本区藤本总种数的5.0%,其中有11个科(如百部科、心翼果科和远志科)仅含1种藤本(表1)。

表1 喜马拉雅植物区系中含藤科的藤本多样性
Table 1 Taxonomic composition of the families containing climbing plants in the Himalayan region

科名 Family	藤本总种数 No. of climbers	草质藤本 Vines	木质藤本 Lianas	科名 Family	藤本总种数 No. of climbers	草质藤本 Vines	木质藤本 Lianas
豆科 Leguminosae	162	75	87	胡颓子科 Elaeagnaceae	6	0	6
夹竹桃科 Apocynaceae	124	25	99	唇形科 Lamiaceae	6	0	6
旋花科 Convolvulaceae	69	52	17	木通科 Lardizabalaceae	6	0	6
葫芦科 Cucurbitaceae	58	55	3	报春花科 Primulaceae	6	0	6
葡萄科 Vitaceae	50	7	43	苦苣苔科 Gesneriaceae	6	1	5
毛茛科 Ranunculaceae	46	5	41	天门冬科 Asparagaceae	6	3	3
茜草科 Rubiaceae	42	27	15	西番莲科 Passifloraceae	6	3	3
蔷薇科 Rosaceae	38	0	38	马钱科 Loganiaceae	5	0	5
胡椒科 Piperaceae	28	1	27	猕猴桃科 Actinidiaceae	4	0	4
防己科 Menispermaceae	27	7	20	叶下珠科 Phyllanthaceae	4	0	4
薯蓣科 Dioscoreaceae	27	26	1	苋科 Amaranthaceae	4	1	3
鼠李科 Rhamnaceae	25	0	25	爵床科 Acanthaceae	4	3	1
木犀科 Oleaceae	21	0	21	紫草科 Boraginaceae	3	0	3
菝葜科 Smilacaceae	21	0	21	荨麻科 Urticaceae	3	0	3
卫矛科 Celastraceae	20	0	20	车前草科 Plantaginaceae	3	3	0
天南星科 Araceae	19	0	19	牛栓藤科 Connaraceae	2	0	2
菊科 Compositae	15	7	8	第伦桃科 Dilleniaceae	2	0	2
桑科 Moraceae	14	0	14	买麻藤科 Gnetaceae	2	0	2
番荔枝科 Annonaceae	13	0	13	莲叶桐科 Hernandiaceae	2	0	2
五加科 Araliaceae	12	0	12	白花丹科 Plumbaginaceae	2	0	2
芸香科 Rutaceae	12	0	12	檀香科 Santalaceae	2	0	2
龙胆科 Gentianaceae	12	11	1	鸭跖草科 Commelinaceae	2	2	0
马兜铃科 Aristolochiaceae	11	5	6	无患子科 Sapindaceae	2	2	0
桔梗科 Campanulaceae	11	11	0	茄科 Solanaceae	2	2	0
棕榈科 Arecaceae	10	0	10	漆树科 Anacardiaceae	1	0	1
山柑科 Capparaceae	10	0	10	绣球科 Hydrangeaceae	1	0	1
禾本科 Poaceae	10	0	10	铁青树科 Olacaceae	1	0	1
蓼科 Polygonaceae	10	8	2	山柚子科 Opiliaceae	1	0	1
使君子科 Combretaceae	9	0	9	泡桐科 Paulowniaceae	1	0	1
金虎尾科 Malpighiaceae	8	0	8	远志科 Polygalaceae	1	0	1
罂粟科 Papaveraceae	7	7	0	心翼果科 Cardiopteridaceae	1	1	0
茶茱萸科 Icacinaceae	7	0	7	石竹科 Caryophyllaceae	1	1	0
清风藤科 Sabiaceae	7	0	7	秋水仙科 Colchicaceae	1	1	0
五味子科 Schisandraceae	7	0	7	兰科 Orchidaceae	1	1	0
锦葵科 Malvaceae	7	1	6	百部科 Stemonaceae	1	1	0
大戟科 Euphorbiaceae	7	3	4	总计 Total	1,083	358	725
忍冬科 Caprifoliaceae	6	0	6				

属的水平上, 本区藤本种数最丰富的前6个属依次为铁线莲属(*Clematis*, 41种)、悬钩子属(*Rubus*, 33种)、胡椒属(*Piper*, 28种)、薯蓣属(*Dioscorea*, 27种)、茉莉属(*Jasminum*, 20种)和菝葜属(*Smilax*, 20种); 它们仅占本区含藤属总数的1.9%, 但所含藤本种数占本区藤本总种数的15.6%。除上述6属外, 另有21属在本区的藤本种数不低于10种, 依次为崖

爬藤属(*Tetrastigma*, 17种)、银背藤属(*Argyreia*, 16种)、球兰属(*Hoya*, 15种)、野豌豆属(*Vicia*, 15种)、菟丝子属(*Cuscuta*, 14种)、番薯属(*Ipomoea*, 14种)、崖角藤属(*Rhaphidophora*, 12种)、鱼黄草属(*Merremia*, 12种)、鱼藤属(*Derris*, 12种)、吊灯花属(*Ceropegia*, 12种)、马兜铃属(*Aristolochia*, 11种)、拉拉藤属(*Galium*, 11种)、党参属(*Codonopsis*, 11种)、

榕属(*Ficus*, 11种)、茜草属(*Rubia*, 11种)、栝楼属(*Trichosanthes*, 10种)、羊蹄甲属(*Bauhinia*, 10种)、娃儿藤属(*Tylophora*, 10种)、鹿藿属(*Rhynchosia*, 10种)、葛属(*Pueraria*, 10种)和白粉藤属(*Cissus*, 10种)。另外, 山柑属(*Capparis*)、鹅绒藤属(*Cynanchum*)等41个含藤属的藤本种类不低于5种; 山牵牛属(*Thunbergia*)、猕猴桃属(*Actinidia*)等40个含藤属的藤本种类不低于3种; 买麻藤属(*Gnetum*)、槭藤属(*Entada*)等57属仅含2种藤本。余下144个含藤属在本区均只分布有1种藤本(如帽儿瓜属(*Mukia*)、微花藤属(*Iodes*)、帘子藤属(*Pottsia*)等), 分别占含藤属和藤本总种数的46.6%和13.3%; 单种藤本的含藤属主要来自夹竹桃科(28属)、豆科(17属)、葫芦科(13属)和防己科(10属)。

2.1.2 攀援方式

如表2所示, 喜马拉雅地区藤本植物的攀援方式主要为缠绕攀援, 其次为蔓生攀援和卷须攀援, 吸附攀援的种类最少。

缠绕攀援藤本共556种, 包括本区过半(51.3%)的藤本种类。以缠绕攀援为主的含藤科主要包括豆科(129种)、夹竹桃科(108种)、旋花科(55种)、毛茛科(45种)和防己科(27种)。优势含藤属依次为铁线莲属(41种)、薯蓣属(27种)和银背藤属(16种)。

蔓生攀援藤本共270种, 占本区藤本总种数的24.9%。其中的优势含藤科包括蔷薇科(38种)、茜草科(30种)和鼠李科(25种)。蔷薇科悬钩子属(33种)的藤本种类最为丰富, 其次为拉拉藤属和茜草属, 各11种。

卷须攀援藤本共177种, 占本区藤本总种数的16.3%。其中的优势含藤科主要为葫芦科(58种)和葡萄科(49种), 豆科(26种)和菝葜科(21种)也有不少种类以卷须攀援。优势含藤属依次为菝葜属(20种)、崖爬藤属(17种)和野豌豆属(15种); 此外, 栝楼属、羊蹄甲属和白粉藤属也均有10种卷须藤本。

吸附攀援藤本共80种, 仅占7.4%。以不定根攀援的胡椒科(28种)和天南星科(19种)的吸附类藤本最多; 优势含藤属包括胡椒属(28种)、崖角藤属(12种)、榕属(11种)以及以吸器结合缠绕攀援的菟丝子属(14种)。

2.2 藤本植物地理格局

2.2.1 喜马拉雅地区与周边地区的比较

喜马拉雅地区的藤本组成显著受相邻区域植

物区系的影响, 尤其是东南亚、南亚和中国西南区系, 99.7%的含藤属和86.3%的藤本种类在东南亚、南亚或中国西南地区也有分布。

东南亚是亚洲藤本植物最为丰富的地区(97科621属3,449种)。喜马拉雅地区的72个含藤科全都在东南亚有藤本分布; 除鹰嘴豆属(*Cicer*)、旋花豆属(*Cochlianthus*)等12属外, 其余的297个含藤属(96.1%)在东南亚也均有藤本分布; 喜马拉雅1,083种藤本植物中有802种(74.1%)在东南亚地区有分布。在亚洲大陆地区, 薯蓣属、胡椒属、崖爬藤属、茉莉属、番薯属和球兰属均以东南亚最为丰富, 这些属在喜马拉雅地区的藤本也相对较丰富(表3)。

南亚地区藤本多样性虽然不如东南亚, 但也较喜马拉雅地区丰富(86科410属1,386种), 且南亚毗邻喜马拉雅, 因此两个地区间联系也十分密切。除莲叶桐科、泡桐科、荨麻科和绣球科外, 喜马拉雅地区其余68个含藤科在南亚也均有藤本分布; 喜马拉雅地区243个含藤属(78.6%)和548种藤本(50.6%)在南亚也有分布。喜马拉雅地区的优势含藤属中, 银背藤属的多样性中心在南亚(表3), 但南亚比喜马拉雅地区缺失包括首乌属(*Fallopia*)、土圞儿属(*Apios*)、蔓龙胆属(*Crawfordia*)等在内的66属。

中国西南地区的一部分属泛喜马拉雅范畴, 与本文所论述喜马拉雅地区的植物区系联系密切, 藤本植物区系(79科332属1,746种)中仅缺失秋水仙科; 此外, 麻核藤属(*Natsiatopsis*)、藤芋属(*Scindapsus*)、勐腊藤属(*Goniostemma*)、倒吊兰属(*Erythrorchis*)、鹰嘴豆属等68属也未在中国西南分布, 喜马拉雅地区241个含藤属(78.0%)和530种藤本(48.9%)在中国西南地区也有分布。中国藤本植物区系中铁线莲属、悬钩子属和菝葜属藤本都极为丰富, 在中国西南地区也依旧保持较高的多样性, 并对喜马拉雅地区的藤本植物区系产生显著的影响(表3)。

除个别类群外, 伊朗高原和中亚地区整体上对喜马拉雅地区的藤本组成影响不大。一方面, 由于藤本植物多样性由东向西递减, 至克什米尔段藤本植物多样性已大为降低, 含藤科、含藤属和藤本种类仅30科93属179种。另一方面, 藤本植物多样性水平在中亚地区(20科34属134种)和伊朗高原地区(22科49属155种)也非常低。因此, 尽管喜马拉雅地区的藤本植物类群在伊朗高原(12.0%的含藤属和5.5%的藤本种类)和中亚地区(8.7%的含藤属和5.0%

表2 喜马拉雅种子植物区系中藤本植物不同攀援方式的多样性及其比例(%)
Table 2 Subdivision of climbing plants and their proportions (%) in the spermatophyte flora of the Himalayan region

地区 District	缠绕藤本 Twining climbers	卷须藤本 Tendrillar climbers	吸附藤本 Adhesive climbers	蔓生藤本 Sprawling climbers
东南段 SE. Himalaya	312 (48.6)	109 (17.0)	59 (9.2)	162 (25.2)
不丹段 Bhutan	317 (53.6)	94 (15.9)	29 (4.9)	151 (25.5)
尼泊尔段 Nepal	276 (55.0)	90 (17.9)	21 (4.2)	115 (22.9)
北阿肯德段 Uttarakhand	183 (53.7)	63 (18.5)	21 (6.2)	74 (21.7)
喜马偕尔段 Himachal	123 (60.6)	46 (22.7)	7 (3.4)	27 (13.3)
克什米尔段 Kashmir	103 (57.5)	33 (18.4)	12 (6.7)	31 (17.3)
总计 Total	556 (51.3)	177 (16.3)	80 (7.4)	270 (24.9)

表3 喜马拉雅及其毗邻地区藤本最为丰富的含藤属及其种数*
Table 3 The most climber-rich genera in the Himalayan region and its neighbouring regions

喜马拉雅 Himalaya	东南亚 SE. Asia	南亚 S. Asia	中国西南 SW. China	伊朗高原 Iranian Plateau	中亚 C. Asia
铁线莲属 <i>Clematis</i> (41)	省藤属 <i>Calamus</i> (87)	银背藤属 <i>Argyreia</i> (39)	铁线莲属 <i>Clematis</i> (68)	野豌豆属 <i>Vicia</i> (30)	菟丝子属 <i>Cuscuta</i> (31)
悬钩子属 <i>Rubus</i> (33)	薯蓣属 <i>Dioscorea</i> (83)	番薯属 <i>Ipomoea</i> (37)	悬钩子属 <i>Rubus</i> (65)	菟丝子属 <i>Cuscuta</i> (21)	野豌豆属 <i>Vicia</i> (21)
胡椒属 <i>Piper</i> (28)	胡椒属 <i>Piper</i> (74)	吊灯花属 <i>Ceropegia</i> (30)	菝葜属 <i>Smilax</i> (53)	山黧豆属 <i>Lathyrus</i> (16)	山黧豆属 <i>Lathyrus</i> (15)
薯蓣属 <i>Dioscorea</i> (27)	崖爬藤属 <i>Tetrastigma</i> (66)	省藤属 <i>Calamus</i> (29)	薯蓣属 <i>Dioscorea</i> (39)	—	—
茉莉属 <i>Jasminum</i> (20)	茉莉属 <i>Jasminum</i> (61)	胡椒属 <i>Piper</i> (29)	胡椒属 <i>Piper</i> (32)	—	—
菝葜属 <i>Smilax</i> (20)	羊蹄甲属 <i>Bauhinia</i> (61)	铁线莲属 <i>Clematis</i> (25)	马兜铃属 <i>Aristolochia</i> (32)	—	—
崖爬藤属 <i>Tetrastigma</i> (17)	银背藤属 <i>Argyreia</i> (59)	茉莉属 <i>Jasminum</i> (24)	猕猴桃属 <i>Actinidia</i> (31)	—	—
银背藤属 <i>Argyreia</i> (16)	悬钩子属 <i>Rubus</i> (56)	薯蓣属 <i>Dioscorea</i> (22)	茉莉属 <i>Jasminum</i> (29)	—	—
球兰属 <i>Hoya</i> (15)	菝葜属 <i>Smilax</i> (53)	山柑属 <i>Capparis</i> (21)	崖爬藤属 <i>Tetrastigma</i> (29)	—	—
野豌豆属 <i>Vicia</i> (15)	球兰属 <i>Hoya</i> (48)	鹿藿属 <i>Rhynchosia</i> (20)	雪胆属 <i>Hemsleya</i> (29)	—	—
番薯属 <i>Ipomoea</i> (14)	番薯属 <i>Ipomoea</i> (44)	黄檀属 <i>Dalbergia</i> (21)	栝楼属 <i>Trichosanthes</i> (27)	—	—
菟丝子属 <i>Cuscuta</i> (14)	鱼藤属 <i>Derris</i> (41)	崖爬藤属 <i>Tetrastigma</i> (20)	党参属 <i>Codonopsis</i> (23)	—	—

* 伊朗高原和中亚地区藤本种类低于10种的含藤属未列出。
* Genera with less than 10 climbers in Iranian Plateau and Central Asia were not list.

的藤本种类)的分布比例均很低,但在本区西部各段的藤本总数中所占比重很高,在一定程度上影响了喜马拉雅西部的藤本区系构成。例如,伊朗高原和中亚地区植物区系中藤本最多的两个属都是菟丝子属和野豌豆属,种类均超过20种(表3);而该两属在克什米尔分别有11种和10种藤本,仅次于铁线莲属(12种),合占克什米尔藤本总数的11.7%。其他一些藤本不甚丰富的中亚、伊朗高原或地中海成分对喜马拉雅地区西部的组成也有一定的影响,如山黧豆属(*Lathyrus*)和鹰嘴豆属。

2.2.2 喜马拉雅地区藤本植物的地理分布

对喜马拉雅地区1,083种藤本在喜马拉雅(A)及其相邻区域南亚(B)、东南亚(C)、中国西南(D)、伊朗高原或中亚(E)的分布情况进行了统计(表4),结果表明,喜马拉雅地区藤本植物的地理分布具有以下特点:

(1)东南亚、南亚和中国西南植物区系的影响贯穿整个喜马拉雅地区。喜马拉雅地区1,083种藤本中,524种(48.4%)在南亚以及喜马拉雅以东(ABC、ABD、ABCD)均有分布;若加上广布种(AB(CD)E)和其他分布略窄的成分(AB、AC、AD、ACD),这一比例高达84.6%。

(2)缺乏特有性。本区没有特有含藤属,仅125种藤本(11.5%)为本区所特有,低于相邻的南亚(33.8%)、东南亚(28.5%)和中国西南(15.2%)。特有藤本种类较丰富的属主要包括悬钩子属(10种)、铁线莲属(9种)、胡椒属(6种)、吊灯花属(6种)和马兜铃属(5种)。

(3)伊朗高原和中亚成分的影响局限于喜马拉雅西部,对克什米尔的影响较为显著。仅在喜马拉雅及其以西分布(AE)的种类只有21种,如高大菟丝子(*Cuscuta gigantea*)、*Rubia himalayensis*和

表4 喜马拉雅地区1,083种藤本植物在该区域各段的分布格局
Table 4 Distribution patterns of the 1,083 Himalayan climbing species in different part of the Himalayan region

分布 Distribution	藤本总数 Climbers	克什米尔 Kashmir	喜马偕尔 Himachal	北阿肯德 Uttarakhand	尼泊尔段 Nepal	不丹段 Bhutan	东南段 SE. Himalaya
ABCD	286 (26.4)	43 (24.0)	64 (31.5)	127 (37.2)	191 (38.0)	228 (38.6)	219 (34.1)
ABC	227 (21.0)	38 (21.2)	45 (22.2)	82 (24.0)	102 (20.3)	134 (22.7)	118 (18.4)
ACD	127 (11.7)	—	2 (1.0)	14 (4.1)	47 (9.4)	50 (8.5)	102 (15.9)
A	125 (11.5)	10 (5.6)	12 (5.9)	24 (7.0)	48 (9.6)	52 (8.8)	49 (7.6)
AC	100 (9.2)	3 (1.7)	3 (1.5)	4 (1.2)	13 (2.6)	41 (6.9)	72 (11.2)
AD	65 (6.0)	2 (1.1)	3 (1.5)	8 (2.3)	18 (3.6)	15 (2.5)	49 (7.6)
AB(CD)E	57 (5.3)	35 (19.6)	36 (17.7)	39 (11.4)	44 (8.8)	33 (5.6)	19 (3.0)
AB	43 (4.0)	10 (5.6)	13 (6.4)	21 (6.2)	17 (3.4)	22 (3.7)	5 (0.8)
AE	21 (1.9)	19 (10.6)	6 (3.0)	2 (0.6)	2 (0.4)	1 (0.2)	—
ABE	13 (1.2)	11 (6.1)	9 (4.4)	7 (2.1)	4 (0.8)	1 (0.2)	—
ABD	11 (1.0)	2 (1.1)	6 (3.0)	8 (2.3)	10 (2.0)	10 (1.7)	6 (0.9)
A(CD)E	7 (0.6)	5 (2.8)	4 (2.0)	5 (1.5)	6 (1.2)	4 (0.7)	3 (0.5)
AF	1 (0.1)	1 (0.6)	—	—	—	—	—

A: 喜马拉雅; B: 南亚; C: 东南亚; D: 中国西南; (CD): 东南亚或中国西南; E: 伊朗高原或中亚; F: 非洲。
A, Himalaya; B, South Asia; C, Southeast Asia; D, Southwest China; (CD), Southeast Asia or Southwest China; E, Iranian Plateau or Central Asia; F, Africa.

Vincetoxicum canescens; 喜马拉雅、南亚及其以西分布(ABE)的种类只有13种,如单柱菟丝子(*Cuscuta monogyna*)、藏西铁线莲(*Clematis graveolens*)和*Cynanchum acutum*; 喜马拉雅及其以西和以东均有分布而在南亚缺失(A(CD)E)的种有7个: 蔓首乌(*Fallopia convolvulus*)、猪殃殃(*Galium spurium*)、欧白英(*Solanum dulcamara*)、三角叶薯蓣(*Dioscorea deltoidea*)、牧地山黧豆(*Lathyrus pratensis*)、野豌豆(*Vicia sepium*)和甘青铁线莲(*Clematis tangutica*)。另外,有一种呈非洲-喜马拉雅间断分布(AF),即*Merremia palmata*,该种在非洲广布,而在亚洲仅克什米尔地区有记录。

2.3 藤本植物地理格局

2.3.1 喜马拉雅地区藤本植物的梯度变化

喜马拉雅地区藤本植物多样性自东向西逐渐降低的整体趋势明显。在由东往西的6个段中,含藤科、含藤属和藤本种数均自东向西逐渐递减(表5); 种子植物区系中藤本种数及其在植物区系中所占比例(CPF)依次为642 (13.0%)、591 (10.8%)、502 (9.8%)、341 (8.0%)、203 (6.0%)和179 (4.2%)。

不同生态类型藤本植物在喜马拉雅地区也呈东西向的明显变化。随着藤本植物多样性在自东向西的6个分段中的整体下降,一方面,喜马拉雅自东向西各段中木质藤本的比例逐渐递减,而草质藤本比例相应上升(表5); 另一方面,缠绕攀援藤本的

比例大致呈上升趋势; 蔓生攀援藤本比例呈下降趋势; 而卷须和吸附攀援的比例变化均不明显(表2)。

此外,不同分类群的藤本在喜马拉雅东西向的变化趋势存在差异。科的水平上,各科自东向西均呈递减趋势; 豆科和夹竹桃科在喜马拉雅自东向西6个段中虽也呈递减趋势,但在各段均为藤本多样性最丰富的两个科; 在东南段和不丹段,葫芦科的藤本多样性均列第三; 而在尼泊尔、北阿肯德和克什米尔段中旋花科排在第三; 喜马偕尔则以毛茛科排在第三。属的水平上,大多数属的藤本多样性由东往西递减,如悬钩子属、胡椒属、薯蓣属、菝葜属、球兰属等; 而少数属则由东往西逐渐增加,如野豌豆属和菟丝子属(表6)。

2.3.2 喜马拉雅与印度河-恒河平原地区的比较

与喜马拉雅地区的格局类似,藤本植物多样性在印度河-恒河平原地区也呈现出东西向递减的趋势,但两个地区之间存在一些差别。在印度河-恒河平原地区由阿萨姆、孟加拉、比哈尔、北方邦、哈里亚纳至巴基斯坦北部6段,相应的藤本植物种数及其CPF依次为917 (15.4%)、467 (13.8%)、320 (13.0%)、295 (11.4%)、123 (11.8%)和68 (3.5%), CPF递减梯度不如喜马拉雅地区明显。

与印度河-恒河平原相比,喜马拉雅地区含藤属自东向西减少的趋势更为显著和均匀。喜马拉雅地区分布的309个含藤属中,有233属在克什米尔以

表5 喜马拉雅各段藤本植物多样性

Table 5 Climbing plant diversity in different part of the Himalayan region

地区 District	科 Family	属 Genus	种 Species	草质藤本 Vines (%)	木质藤本 Lianas (%)
东南段 SE. Himalaya	69	239	642	178 (27.7)	464 (72.3)
不丹段 Bhutan	67	235	591	185 (31.3)	406 (68.7)
尼泊尔段 Nepal	62	195	502	176 (35.1)	326 (64.9)
北阿肯德段 Uttarakhand	54	157	341	125 (36.7)	216 (63.3)
喜马偕尔段 Himachal	35	105	203	98 (48.3)	105 (51.7)
克什米尔段 Kashmir	30	93	179	83 (46.4)	96 (53.6)
总计 Total	72	309	1,083	358 (33.1)	725 (66.9)

表6 喜马拉雅地区藤本种数最为丰富的前12个含藤属及其藤本分布

Table 6 Distribution of the 12 most climber-rich genera in the Himalayan region

属名 Genus	藤本种数 Climbers	克什米尔段 Kashmir	喜马偕尔段 Himachal	北阿肯德段 Uttarakhand	尼泊尔段 Nepal	不丹段 Bhutan	东南段 SE. Himalaya
铁线莲属 <i>Clematis</i>	41	12	16	17	27	16	21
悬钩子属 <i>Rubus</i>	33	0	1	6	17	21	18
胡椒属 <i>Piper</i>	28	0	0	4	6	11	22
薯蓣属 <i>Dioscorea</i>	27	3	5	9	12	9	26
茉莉属 <i>Jasminum</i>	20	5	2	8	9	12	15
菝葜属 <i>Smilax</i>	20	2	4	10	13	12	15
崖爬藤属 <i>Tetrastigma</i>	17	1	1	6	11	13	11
银背藤属 <i>Argyrea</i>	16	2	1	4	8	10	6
球兰属 <i>Hoya</i>	15	2	1	3	4	12	10
野豌豆属 <i>Vicia</i>	15	10	11	7	6	4	4
菟丝子属 <i>Cuscuta</i>	14	10	3	4	3	3	5
番薯属 <i>Ipomoea</i>	14	3	3	7	9	3	2

西的中亚及伊朗高原不再有藤本分布，平均每往西 100 km减少8.4个含藤属，其中以北阿肯德段的减少速率最快(图1)；自东向西6个段减少的含藤属比例依次占减少总数的20.5%、17.9%、17.9%、19.7%、7.7%和16.2%。喜马拉雅地区分布的309个含藤属中有272属在印度河-恒河平原也有藤本分布，其中196属在巴基斯坦北部以西不再有藤本分布，平均每往西100 km减少6.3个含藤属，其中以孟加拉段的减少速率最快；自东向西6个段减少的含藤属比例依次为28.6%、19.9%、12.8%、25.0%、11.7%和2.0% (图1)。

含藤属在喜马拉雅地区的分布西界整体上比印度河-恒河平原更偏西。喜马拉雅地区和印度河-恒河平原以西不再有藤本分布的196个含藤属中，有61属(31.1%)在喜马拉雅地区的藤本分布西界比在印度河-恒河平原的分布显著更靠西(图1)。例如，共有56个含藤属在阿萨姆以西的印度河-恒河平原

不再有藤本分布，而其中肖菝葜属(*Heterosmilax*)、班果藤属(*Stixis*)等6个属在喜马拉雅地区可分布至尼泊尔段，土圜儿属和蓬莱葛属(*Gardneria*)等8个属可往西延伸至北阿肯德段；胡颓子属(*Elaeagnus*)、绞股蓝属(*Gynostemma*)等4属往西延伸至喜马偕尔段。再如，鱼藤属、清风藤属(*Sabia*)等17个含藤属在印度河-恒河平原分布至北方邦段，而在喜马拉雅地区可继续往西延伸至克什米尔段。藤本分布西界较为接近的地方主要集中在两处：一处为喜马拉雅东南段-阿萨姆以西(共26属，如构属(*Broussonetia*)、倒吊兰属(*Erythrorchis*)、尖花藤属(*Friesodielsia*)和须药藤属(*Stelmocrypton*))；另一处为北阿肯德-北方邦以西(共16属，如胡椒属、猕猴桃属和黄檀属(*Dalbergia*)。仅8个含藤属(4.1%)在印度河-恒河平原的分布西界比在喜马拉雅地区的分布显著更靠西，例如鳝藤属(*Anodendron*)和盒子草属(*Actinostemma*)均仅在喜马拉雅的东南段分布，

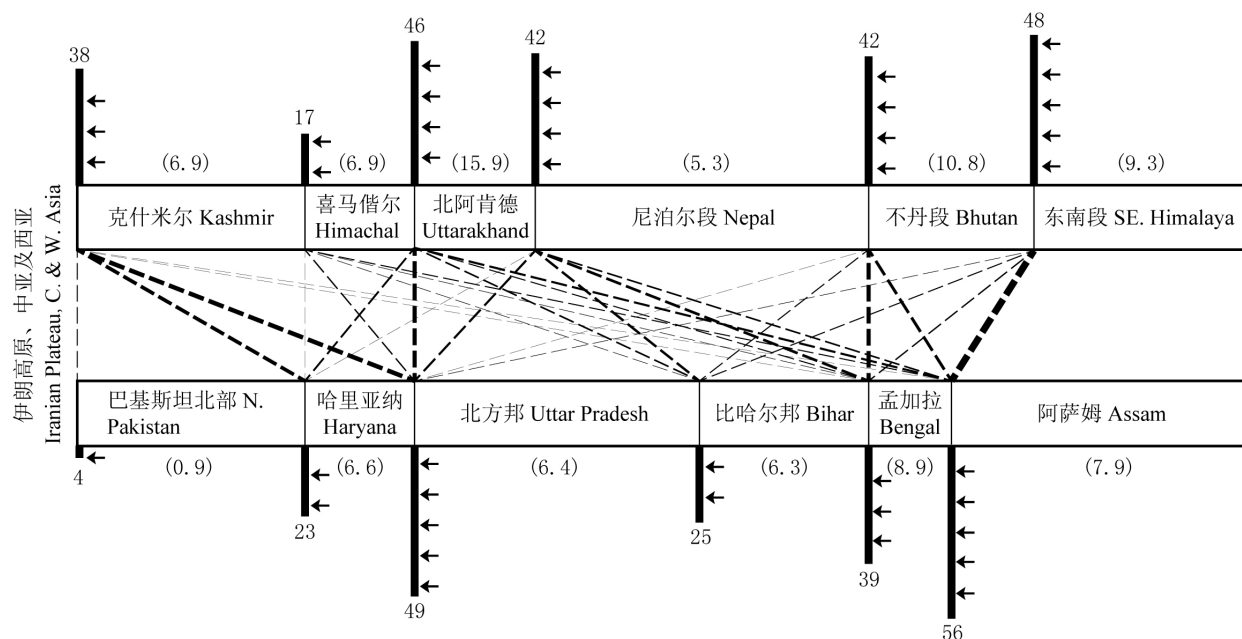


图1 喜马拉雅和印度河-恒河平原地区含藤属的分布西界。黑色柱及其末端数字代表在其西侧各区段再无藤本分布的含藤属数量, 括号中的数字表示在各区段中平均往西100 km减少的含藤属数, 虚线表示同一含藤属分布西界在喜马拉雅和印度河-恒河平原地区的对应模式, 虚线越粗表明该模式下的含藤属数量越多。

Fig. 1 West distribution boundaries of the climber-containing genera in the Himalayas and the Indo-Gangetic Plain. Black columns denote the number of climber-containing genera disappeared in the west sections. Numbers in brackets denote reduced climber-containing genera per 100 km to the west in each section. Dashed lines denote the west distribution boundaries in the Himalayas and the Indo-Gangetic Plain. The width of the dashed line corresponds to the number of genera following this model.

而在印度河-恒河平原, 前者往西分布至比哈尔邦, 后者往西分布至北方邦。

3 讨论

3.1 喜马拉雅地区藤本植物区系的特点

喜马拉雅地区藤本植物区系最鲜明的特点是缺乏特有性, 没有真正意义上的特有含藤属。喜马拉雅地区植物的特有性一直以来都备受关注, 该区没有特有科, 而对特有属的研究往往都比较零散, 未见较全面的报道。Ahmedullah (2000)列举了喜马拉雅东部和西部所特有的67个属; Mitra和Mukherjee (2007)列举了56个特有或近特有属; Manchester等(2009)列举了喜马拉雅东部30个特有属。作者对这些属的地理分布及其系统发育分析进行了重新整理, 发现存在较大出入。一方面, 随着周边地区植物区系调查的深入和资料的积累, 一些原本认为分布局限于喜马拉雅地区的属在其他地区也有发现。例如, Ahmedullah (2000)的名录中至少有27属不是喜马拉雅特有属, 如短瓣花属(*Brachystemma*)和鞭打绣球属(*Hemiphragma*); Mitra

和Mukherjee (2007)的名录中也至少有16个属的分布区远超出了喜马拉雅的范围, 如石丁香属(*Neohymenopogon*)和紫花苣苔属(*Loxostigma*)等。另一方面, 系统发育学研究取缔或归并了一些特有属, 这种情况在含有藤本植物的属中尤为突出。例如, Ahmedullah (2000)以及Mitra和Mukherjee (2007)的特有属名录中都包括3个含有藤本植物的单型属: 藏瓜属(*Indofevillea*)、三裂瓜属(*Biswarea*)和三棱瓜属(*Edgaria*)。藏瓜属原只有藏瓜(*I. khasiana*)一种, 分布于喜马拉雅东南段、不丹段和阿萨姆, 但近来在缅甸东北部发现一新种*I. jiroi* (Schaefer et al, 2012)。三裂瓜属和三棱瓜属在系统发育树中和另一单型属波棱瓜属(*Herpetospermum*)的关系十分紧密 (Kocyan et al, 2007), Schaefer和Renner (2011)将前两属并入波棱瓜属。再加上2014年报道的新种*H. operculatum* (Pradheep et al, 2014), 上述各属均已不再为喜马拉雅特有属。Mitra和Mukherjee (2007)的特有属名录中还包括单型属互叶铁线莲属(*Archiclematis*), 但系统发育学研究表明该属应归入铁线莲属(Miikeda et al, 2006; Xie et al, 2011)。上文

提及的3份特有属名录中均保留了夹竹桃科单型属 *Treutlera*, 仅 *T. insignis* 一种; 该种在梅加拉亚也有分布(Jagtap & Singh, 1999), 而且基于 Surveswaran (2014) 对该属及其近缘属的系统发育学研究结果, 该属很有可能应归入匙羹藤属(*Gymnema*)。另外, 树萝卜属(*Agapetes*)植物虽在喜马拉雅东部、中国西南和东南亚均有分布, 但多为附生灌木; 而《西藏植物志》第3卷(吴征镒, 1986)和《中国植物志》第57卷(方瑞征等, 1991)等文献均记载分布于喜马拉雅东南段的锈毛树萝卜(*A. anonyma*)多少具攀援习性。该种的标本极为有限, 有关植物志的记载均译自该种正式发表的拉丁文描述(Airy-Shaw, 1948), 我们对照拉丁原文及作者的说明, 判定该种不属本文的藤本研究范畴。因此, 可以说喜马拉雅地区没有真正意义上的特有含藤属。

受毗邻地区的影响显著是喜马拉雅地区藤本植物区系的另一个特点。除下文将要提到的喜马拉雅地区内部生态环境多样化的原因外, 决定喜马拉雅地区藤本植物格局的一个重要基础是毗邻地区生态环境的多元化。东南亚地区是亚洲藤本植物多样性中心, 热带成分显著; 东亚地区的藤本植物也十分丰富, 如中国特有含藤属就有14属(胡亮等, 2010); 南亚藤本植物种类略逊于东亚, 但特有性较高(Hu & Li, 2015); 中亚和伊朗高原虽藤本种类不多, 但菟丝子属和野豌豆属藤本较亚洲其他地区多。因此, 喜马拉雅东部的藤本植物组成受东南亚和中国西南植物区系的影响显著; 西部的藤本植物组成除依然受东南亚和中国西南植物区系的影响外, 还与毗邻的伊朗高原和中亚植物区系联系密切, 显示出与欧洲-地中海植物区系的亲缘性; 而喜马拉雅中部的藤本植物组成还明显受南亚植物区系的影响。

3.2 喜马拉雅地区藤本植物地理格局的影响因素

生物类群的地理格局往往受到历史和生态因素的综合作用(Srinivasan et al, 2014)。尽管藤本植物的最早化石记录可追溯至中泥盆世吉维期, 但种子植物中的藤本植物最早可能现于早白垩纪, 并在始新世才开始繁盛起来(Burnham, 2015)。彼时, 正值喜马拉雅运动第一幕(陈祥高, 1979), 古地中海的变迁和青藏高原的隆起对喜马拉雅地区植物区系及其发展都有着深远的影响。然而, 喜马拉雅植物区系中孑遗植物和特有性的缺乏, 以及早第三纪之

前化石记录的缺失等证据均表明喜马拉雅植物区系是较年轻的(Singh & Singh, 1987; 张宏达等, 1988; 孙航, 2002)。因此, 现代喜马拉雅地区藤本植物区系及其地理格局的主要成因应该是生态的, 而非历史的。在末次盛冰期, 喜马拉雅除东部以外的其余部分均为冰川所覆盖(Srinivasan et al, 2014); 冰川退却后, 各相邻地区植物区系中的藤本植物和其他生物类群才得以在喜马拉雅地区传播和扩散, 逐渐形成其现有格局。

生态环境因子对喜马拉雅地区的藤本植物地理格局的作用可通过与印度河-恒河平原的对比看出。喜马拉雅地区的藤本植物所呈现出的自东向西递减的趋势, 大致与哺乳类、鸟类、昆虫等其他类群的多样性在喜马拉雅地区的变化趋势一致(Srinivasan et al, 2014; Thakur & Negi, 2015)。在其东西方向上藤本植物CPF指数的降低幅度比亚洲相同纬度范围内的地区要大(Hu et al, 2010; Hu & Li, 2015)。不仅如此, CPF及含藤属沿喜马拉雅地区自东向西的递减趋势比印度河-恒河平原更为均匀, 且同属藤本植物在喜马拉雅地区的分布西界更靠西。一方面, 藤本植物格局的相似性表明东南亚和中国西南地区的藤本往西扩散的过程在喜马拉雅地区和印度河-恒河平原同时发生; 另一方面, 格局差异性的形成与喜马拉雅独特的地形、水分和植被等要素密切相关。

喜马拉雅地区热量的变化主要体现在垂直梯度上, 东西方向上在相同海拔范围内的热量差异不甚明显。西部的克什米尔、喜马偕尔和北阿肯德的低海拔地段热量依然充足, 发育有热带密灌丛, 其中藤本植物包括羊蹄甲属、白花叶属(*Poranopsis*)、锡生藤属(*Cissampelos*)、盾翅藤属(*Aspidopterys*)、风筝果属(*Hiptage*)等热带成分(Hajra et al, 1996)。Rawal和Pangtey (1991)对喜马拉雅中部山地藤本植物的研究结果显示, 以东南亚为多样性中心的类群(如云实属(*Caesalpinia*)、黄檀属、榕属、藤芋属)多分布在海拔800–1,000 m以下, 而以东亚为藤本多样性中心的类群多分布在海拔800–1,000 m以上(如铁线莲属、猕猴桃属、悬钩子属和蔷薇属); 48种常绿藤本中仅2种在2,500 m以上有分布, 而在2,500 m以上仍有分布的落叶藤本达12种。由此可见, 沿海拔梯度的热量变化和生境的多样化是各种成分藤本植物在喜马拉雅地区共存的重要原因之一。

水分条件自东向西的梯度变化可能是在喜马拉雅和印度河-恒河平原地区形成相似的藤本植物多样性梯度变化的主要原因。藤本植物的地理格局显著受到水热条件的限制(Hu et al, 2010)。如前所述, 热量的差异主要影响藤本植物的垂直梯度分布, 而水分条件的差异主要影响藤本植物的东西向分布。一方面, 在喜马拉雅和印度河-恒河平原地区, 降水量均沿东西方向整体上呈递减趋势, 而且西部地区冬季的降雨比例大于东部地区, 克什米尔地区的气候更类似于地中海地区。另一方面, 喜马拉雅不丹段以西各段的降水量都比印度河-恒河平原相应段高。例如, 喜马拉雅海拔1,500–2,000 m范围内的年降水量在其东部约4,000 mm, 中部约2,000 mm, 而西部约1,000–1,900 mm (Singh & Singh, 1987; Hajra et al, 1996); 而相应的印度河-恒河平原降水量在东部阿萨姆、孟加拉约1,500–2,500 mm, 比哈尔降水量勉强超过1,000 mm, 而北方邦及其往西在500–1,000 mm之间(Hajra et al, 1996)。因此, 整体上同属藤本植物在喜马拉雅地区的分布比在印度河-恒河平原更靠西, 且不丹段及其以西各段的藤本植物多样性均比印度河-恒河平原相应段要高。

人类活动对藤本植物的现状格局也有一定的影响。由于水分条件相对较好、人类活动干扰强度相对较低, 喜马拉雅地区森林植被的发育和保存都比印度河-恒河平原地区要好(Hajra et al, 1996)。印度河-恒河平原是南亚文明的发源地, 其绝大部分的原生植被都因粗放型的农业活动而变为密灌丛或疏林(Hajra et al, 1996; Kumar, 2001), 例如比哈尔邦的森林覆盖率仅16.81%, 且密林比例不足一半(Singh et al, 2001)。在上恒河平原保存相对较好的密林中依然有丰富的藤本植物和蔓性竹类, 例如在北方邦戈勒克布尔的森林中藤豆腐柴(*Premna scandens*)、石岩枫(*Mallotus repandus*)、短柱铁线莲(*Clematis cadmia*)、*Uvaria hamiltonii*等十分常见(Hajra et al, 1996)。藤本植物的攀援习性是在与直立植物的竞争中发展起来的, 其适生生境也是以森林植被为最佳, 故其在喜马拉雅地区各段的物种丰富度比印度河-恒河平原要高。

参考文献

- Ahmedullah M (2000) Endemism in the Indian flora. In: Flora of India: Introductory Volume (Part II) (eds Singh NP, Singh DK, Hajra PK, Sharma BD), pp. 246–265. Botanical Survey of India, Calcutta.
- Airy-Shaw HK (1948) Studies in the Ericales, V. Further notes on Agapetes. Kew Bulletin, 3, 77–104.
- Barik SK, Adhikari D, Chettri A, Singh PP (2015) Diversity of lianas in Eastern Himalayas and North-Eastern India. In: Biodiversity of Lianas (ed. Parthasarathy N), pp. 99–122. Springer, Switzerland.
- Burnham RJ (2015) Climbing plants in the fossil record: Paleozoic to present. In: Ecology of Lianas (eds Schnitzer SA, Bongers F, Burnham RJ, Putz FE), pp. 205–220. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex.
- Chang HT, Kong YC, But PH (1988) The origin and its affinity of the Nepalese flora. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 27(2), 1–12. (in Chinese with English abstract) [张宏达, 江润祥, 毕培曦 (1988) 尼泊尔植物区系的起源及其亲缘关系. 中山大学学报(自然科学版), 27(2), 1–12.]
- Chen XG (1979) K-Ar Dating and division of the Himalayan movement in southern Xizang. Scientia Geologica Sinica, 14(1), 13–21. (in Chinese with English abstract) [陈祥高 (1979) 西藏南部同位素地质年龄的测定与喜马拉雅运动的分期. 地质科学, 14(1), 13–21.]
- Clinebell RR, Phillips O, Gentry AH, Stark N, Zuuring H (1995) Prediction of neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. Biodiversity and Conservation, 4, 56–90.
- Fang RC, Hsu TZ, Huang SH, Gao BC (1991) Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Volume 57(3). Science Press, Beijing. (in Chinese) [方瑞征, 徐廷志, 黄素华, 高宝莼 (1991) 中国植物志, 第57卷第3分册. 科学出版社, 北京]
- Gentry A (1991) The distribution and evolution of climbing plants. In: The Biology of Vines (eds Putz FE, Mooney HA), pp. 3–52. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hajra PK, Sharma BD, Sanjappa M, Sastry ARK (1996) Flora of India: Introductory Volume (Part I). Botanical Survey of India, Calcutta.
- Hu L (2011) Distribution and diversity of climbing plants in temperate East Asia. Biodiversity Science, 19, 567–573. (in Chinese with English abstract) [胡亮 (2011) 东亚温带藤本植物多样性及其格局. 生物多样性, 19, 567–573.]
- Hu L, Li MG (2015) Diversity and distribution of climbing plants in Eurasia and North Africa. In: Biodiversity of Lianas (ed. Parthasarathy N), pp. 57–79. Springer, Switzerland.
- Hu L, Li MG, Li Z (2010) The diversity of climbing plants in the spermatophyte flora of China. Biodiversity Science, 18, 198–207. (in Chinese with English abstract) [胡亮, 李鸣光, 李贞 (2010) 中国种子植物区系中的藤本多样性. 生物多样性, 18, 198–207.]
- Hu L, Li M, Li Z (2010) Geographical and environmental gradients of lianas and vines in China. Global Ecology and Biogeography, 19, 554–561.
- Jagtap AP, Singh NP (1999) Fascicles of Flora of India, Fascicle 24. Botanical Survey of India, Calcutta.

- Kumar S (2001) Flora of Haryana (Materials). Bishen Singh Mahendra Pal Singh, Dehra Dun.
- Li H, Wu SK (1983) The regionalization of Xizang (Tibet) flora and the floristic structure of south Himalaya region. *Acta Geographica Sinica*, 38, 252–261. (in Chinese with English abstract) [李恒, 武素功 (1983) 西藏植物区系区划和喜马拉雅南部植物地区的区系特征. *地理学报*, 38, 252–261.]
- Manchester SR, Chen ZD, Lu AM, Uemura K (2009) Eastern Asian endemic seed plant genera and their paleogeographic history throughout the Northern Hemisphere. *Journal of Systematics and Evolution*, 47, 1–42.
- McCain CM, Grytnes JA (2010) Elevational gradients in species richness. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Mitra S, Mukherjee SKR (2007) Reassessment and diversity of endemic angiospermic genera of India. *Journal of Economic and Taxonomic Botany*, 31, 163–176.
- Miikeda O, Kita K, Handa T, Yukawa T (2006) Phylogenetic relationships of *Clematis* (Ranunculaceae) based on chloroplast and nuclear DNA sequences. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152, 153–168.
- Molina-Freaner F, Gamez RC, Tinoco-Ojanguren C, Castellanos AE (2004) Vine species diversity across environmental gradients in northwestern Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1853–1874.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Pradheep K, Pandey A, Bhatt KC, Nayar ER (2014) *Herpetospermum operculatum* (Schizopeponaceae, Cucurbitaceae), a new species from India, Myanmar and China. *Blumea*, 59, 1–5.
- Rawal RS, Pangtey PS (1991) Distribution and phenology of climbers of Kumaun in central Himalaya, India. *Vegetatio*, 97, 77–87.
- Schaefer H, Bartholomew B, Boufford DE (2012) *Indofevillea jiroi* (Cucurbitaceae), a new floral oil producing species from northeastern Myanmar. *Harvard Papers in Botany*, 17, 323–332.
- Schaefer H, Renner SS (2011) Phylogenetic relationships in the order Cucurbitales and a new classification of the gourd family (Cucurbitaceae). *Taxon*, 60, 122–138.
- Schnitzer SA (2005) A mechanistic explanation for global patterns of liana abundance and distribution. *The American Naturalist*, 166, 262–276.
- Singh NP, Mudgal V, Khanna KK, Srivastava SC, Sahoo AK, Bandopadhyay S, Aziz N, Das M, Bhattacharya RP, Hajra PK (2001) Flora of Bihar: Analysis. Botanical Survey of India, Calcutta.
- Singh JS, Singh SP (1987) Forest vegetation of the Himalaya. *Botanical Review*, 53, 80–192.
- Spehn EM, Rudmann-Maurer K, Körner C, Maselli D (2010) Mountain Biodiversity and Global Change. *Global Mountain Biodiversity Assessment of Diversitas*, Basel.
- Srinivasan U, Tamma K, Ramakrishnan U (2014) Past climate and species ecology drive nested species richness patterns along an east-west axis in the Himalaya. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 52–60.
- Sun H (2002) Tethys retreat and Himalayas-Hengduan Mountains uplift and their significance on the origin and development of the Sino-Himalayan elements and alpine flora. *Acta Botanica Yunnanica*, 24, 273–288. (in Chinese with English abstract) [孙航 (2002) 古地中海退却与喜马拉雅-横断山的隆起在中国喜马拉雅成分及高山植物区系的形成与发展上的意义. *云南植物研究*, 24, 273–288.]
- Surveswaran S, Sun M, Grimm GW, Liede-Schumann S (2014) On the systematic position of some Asian enigmatic genera of Asclepiadoideae (Apocynaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 174, 601–619.
- Tanaka N, Ohsawa M, Numata M (1983) Ecology of climbing plants in east Nepal. In: *Ecological Studies in the Arun Valley, East Nepal and Mountaineering of Mt. Baruntse*, 1981 (ed. Numata M), pp. 129–138. Chiba University, Chiba.
- Thakur ML, Negi V (2015) Status and phylogenetic analyses of endemic birds of the Himalayan region. *Pakistan Journal of Zoology*, 47, 417–426.
- The Angiosperm Phylogeny Group (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 105–121.
- Wu CY (1986) Flora Xizangica, Volume 3. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1986) 西藏植物志, 第3卷. 科学出版社, 北京]
- Xie L, Wen J, Li LQ (2011) Phylogenetic analyses of *Clematis* (Ranunculaceae) based on sequences of nuclear ribosomal ITS and three plastid regions. *Systematic Botany*, 36, 907–921.

(责任编辑: 臧润国 责任编辑: 黄祥忠)

• 研究报告 •

基于生态位模型预测野生油茶的潜在分布

崔相艳^{1,2} 王文娟^{1,2} 杨小强^{1,2} 李 述² 秦声远^{1,2} 戎 俊^{1,2*}

1 (南昌大学生命科学研究院流域生态研究所, 南昌大学生命科学学院, 南昌 330031)

2 (南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330031)

摘要: 油茶(*Camellia oleifera*)是我国第一大木本油料作物, 野生油茶是油茶育种的宝贵遗传资源。本研究从中国数字植物标本馆(CVH, <http://www.cvh.org.cn/>)获得可靠的野生油茶分布点数据, 结合气象和土壤数据, 分别应用最大熵(MaxEnt)模型和规则集遗传算法(GARP)模型构建了野生油茶的生态位模型, 预测了野生油茶的潜在分布区, 并分析了影响野生油茶分布的主要环境变量。根据生态位模型预测的分布概率值, 对野生油茶的潜在分布区划分适生等级, 并与主要油茶产地的实际分布数据进行比较, 以验证适生等级划分的可靠性。结果表明, 两种模型的预测结果均能较好地反映油茶的分布情况。GARP模型预测的潜在分布区更广, 而MaxEnt模型的预测结果更精确。两种模型的预测结果均显示, 野生油茶的潜在分布区大部分位于中国, 但在中南半岛也有部分分布。MaxEnt模型预测的野生油茶在中国的潜在分布区与我国亚热带常绿阔叶林的分布区基本吻合, 高适生区主要可以分为3大区域: (1)东北–西南走向的武夷山脉及附近的群山区域; (2)东西走向的南岭山脉及附近的群山区域; (3)东北–西南走向的武陵山脉及附近的群山区域。MaxEnt模型分析显示, 影响野生油茶分布的主要环境变量是昼夜温差均值、最干季降水量与最暖季降水量。油茶生长面积较大的地区绝大部分都位于MaxEnt模型预测的中、高适生区, 说明适生等级的划分较可靠。实地考察显示, 生态位模型的预测结果对于寻找野生油茶资源具有较高的参考价值。此外, 本研究也充分显示, 利用中国数字植物标本馆的植物分布数据, 结合相应的环境数据构建生态位模型, 有助于了解作物野生近缘种的地理分布。

关键词: 野生油茶; 地理分布; 生态位模型; 降水量; 温度; 最大熵模型; 规则集遗传算法模型

Potential distribution of wild *Camellia oleifera* based on ecological niche modeling

Xiangyan Cui^{1,2}, Wenjuan Wang^{1,2}, Xiaoqiang Yang^{1,2}, Shu Li², Shengyuan Qin^{1,2}, Jun Rong^{1,2*}

1 Center for Watershed Ecology, Institute of Life Science, Nanchang University and School of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031

2 Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330031

Abstract: *Camellia oleifera* is the dominant woody oil crop in China, and wild *C. oleifera* is a valuable genetic resource for *C. oleifera* breeding. Using distribution data of wild *C. oleifera* from the Chinese Virtual Herbarium (CVH, <http://www.cvh.org.cn/>), together with climate and soil data, ecological niche models were constructed with MaxEnt and genetic algorithm for rule-set prediction (GARP) models to predict the potential distribution of wild *C. oleifera*, and the major environmental factors affecting the distribution of wild *C. oleifera* were analyzed. Based on the presence probability of wild *C. oleifera* predicted by the models, the distribution regions of wild *C. oleifera* were divided into different suitable growing categories, which were then compared with actual distribution data of major *C. oleifera* production fields to evaluate reliability. Results indicated that the predictions of both MaxEnt and GARP models represented the distributions of *C. oleifera* well. The potential distribution range predicted by the GARP model was wider, while that predicted by the MaxEnt model was more accurate. Predictions of both the MaxEnt and GARP models showed that the

收稿日期: 2016-06-21; 接受日期: 2016-08-25

基金项目: 国家自然科学基金(31460072)和江西省“赣鄱英才555工程”项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: rong_jun@hotmail.com

potential distribution regions of wild *C. oleifera* were located mainly in China and partly in the Indo-China Peninsula. According to predictions of the MaxEnt model, the potential distribution regions of wild *C. oleifera* in China were matched with the distribution regions of subtropical evergreen broad-leaved forests, and the highly suitable growing regions could be divided into three large regions: (1) northeastern-southwestern trending Wuyi Mountain and adjacent mountainous regions; (2) eastern-western trending Nanling Mountain and adjacent mountainous regions; (3) northeastern-southwestern trending Wuling Mountain and adjacent mountainous regions. The analysis of the MaxEnt model showed that the major environmental factors affecting the distribution of wild *C. oleifera* were mean monthly diurnal temperature range, precipitation during the driest quarter, and precipitation during the warmest quarter. The vast majority of the regions with large growing areas of *C. oleifera* were located in the medium to highly suitable growing regions predicted by the MaxEnt model, suggesting that the division of suitable growing regions was reliable. The field investigations showed that the model predictions had high reference values for finding wild *C. oleifera* resources. Additionally, the study shows that using the plant distribution data from CVH and related environmental data to construct an ecological niche model can help to understand the geographic distribution of crop wild relatives.

Key words: wild *Camellia oleifera*; geographic distribution; ecological niche model; precipitation; temperature; MaxEnt model; genetic algorithm for rule-set prediction (GARP) model

作物的野生近缘种是作物育种的宝贵遗传资源。与作物相比,其野生近缘种携带的抗病、抗虫以及抗逆性基因更多,从而可以适应严酷的生境(如高海拔、高盐、干旱等极端生境)(Hajjar & Hodgkin, 2007; 于燕波等, 2013)。而位于分布区边缘的作物野生近缘种群体可能比位于分布区中心的群体具有更广的生态适应性(胡标林等, 2011)。例如:江西东乡的普通野生稻(*Oryza rufipogon*)群体位于世界普通野生稻自然分布的最北缘,具有优良的耐冷、耐旱等抗逆性状(胡标林等, 2011)。全球气候变化可能引发恶劣的天气变化,未来洪涝、干旱等自然灾害的发生可能更加频繁,而作物的病虫害也可能会更加严重。深入研究不同生境中作物野生近缘种表型性状的变异,挖掘与利用其中蕴含的宝贵基因资源,有助于改良作物应对不良环境胁迫的能力,对于在气候变化条件下保障作物的产量和品质具有重要意义(于燕波等, 2013)。

了解作物野生近缘种的地理分布是对其进行保护、挖掘与利用的基础。中国数字植物标本馆(CVH, <http://www.cvh.org.cn/>)收录了大量的植物标本信息,包括采集时间、地点等,为了解不同植物的地理分布提供了参考依据。在此基础上,利用物种分布数据和相关生境数据构建生态位模型,分析影响物种分布的关键生态因子,可以对物种的潜在分布区进行预测(朱耿平等, 2013)。生态位模型的应用范围很广,包括预测物种在未知区域的潜在分布(Raxworthy et al, 2003)、外来种入侵趋势(雷军成和

徐海根, 2010)以及全球气候变化对物种分布的影响(Roura-Pascual et al, 2004)等。

最大熵(maximum entropy, MaxEnt)模型是应用最广泛的生态位模型之一(Phillips et al, 2006)。最近,应用 MaxEnt 模型对太白米(*Notholirion bulbuliferum*) (车乐等, 2014)、檀香(*Santalum album*) (胡秀等, 2014)、金钱松(*Pseudolarix amabilis*) (王雷宏等, 2015)和细辛属(*Asarum*)植物(景鹏飞等, 2015)的潜在分布区进行了分析。大量研究结果显示,该方法建立的生态位模型普遍具有较高的可靠性,可以对植物的潜在分布区进行适生等级划分,有助于了解植物的分布规律。规则集遗传算法(genetic algorithm for rule-set prediction, GARP)模型也是常见的生态位模型之一。GARP模型常用于研究外来种入侵(陈立立等, 2008),在预测入侵的潜在分布区范围上显示出比MaxEnt模型更高的准确性,但是预测的假阳性率可能会高于MaxEnt模型(Sobek-Swant et al, 2012)。因此,在建立生态位模型的过程中应对不同模型的预测结果进行比较,选择预测效果较好的模型进行最后的分析(王运生等, 2007)。

油茶(*Camellia oleifera*)是我国栽培面积最广、总产油量最高的木本油料植物,与油棕榈(*Elaeis guineensis*)、椰子(*Cocos nucifera*)和油橄榄(*Olea europaea*)并称为世界四大木本油料植物,与核桃(*Juglans regia*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)和油桐(*Vernicia fordii*)并称为我国四大木本油料植物。我国是世界上最大的植物油消费国,年消费量超过

3,000万吨,其中近七成依赖进口(USDA-FAS, 2015)。大力发展适宜于山地种植的油茶等木本油料作物,可以充分利用我国的山地资源,提高植物油特别是健康优质的食用植物油的自给率,满足不断增长的消费需求。目前,限制油茶产业发展的核心问题是缺少优良品种、病虫害严重、茶油产量极低(陈永忠等, 2013)。因此,选育适于不同地区的高产、优质以及抗病虫害等不利环境胁迫的优良品种,可以大力推动油茶产业的发展。

目前,油茶种质资源的采集、研究和利用主要集中于栽培品种,包括农家品种、优良无性系、家系和杂交组合,对野生油茶的关注不多(陈永忠, 2008; 庄瑞林, 2012)。应加强对野生油茶的研究,而其首要任务就是充分了解野生油茶的分布状况,认识影响野生油茶分布的关键生态因子。我国从20世纪50年代开始进行油茶种质资源的普查工作,积累了大量的数据。由于油茶良种选育与大规模栽培始于20世纪60年代,此前的数据主要反映了油茶的自然分布情况,受人为因素干扰较小,可以用于了解野生油茶的自然分布规律。本研究首先收集并筛选了中国数字植物标本馆中关于野生油茶分布点的可靠记录。然后,通过世界气候数据库和全球土壤数据库分别获得分辨率为1 km × 1 km的基于温度、降水、海拔以及土壤的环境图层数据。最后,分别应用MaxEnt和GARP模型软件构建生态位模型,综合两者的预测结果对野生油茶的潜在分布区进行分析,并分析影响油茶分布的主要环境因子。

1 材料与方法

1.1 野生油茶分布点数据

通过在中国数字植物标本馆中检索油茶学名 *Camellia oleifera*, 共获得2,006条标本数据。对这些标本数据进行筛选,去除放置在不同标本馆的同一标本的重复、无地理信息和采集时间的标本以及相同地点与时间重复采样的标本,结果获得1,201条标本数据。将这1,201条数据分别赋予唯一的编号,整合关于标本的关键信息(采集时间、地点),在Excel表格中建立数据库。将数据库中明确标有栽培的样本去除。然后,利用谷歌地图核实每条记录的经纬度信息,去除一些由于采集信息不详无法获得准确经纬度的数据,最终得到741条数据。其中, 20

世纪50年代的标本数量最多(344条),反映了油茶种质资源普查的情况。为了反映油茶的自然分布情况,选取油茶大规模栽培以前(早于1960年)的数据(433条)。为减少空间自相关(Waltari et al, 2007),在ArcGIS 9.3中利用Data management tools生成0.1° × 0.1°的网格,对于网格内多于1条的数据,只选取距离中心点最近的1条,共得到270条数据。为减少采样偏差,将各省单位面积内油茶分布点的数目进行排序,以排在中间的省份作为标准,对高于该标准的省份,依据面积按该标准计算应该采用的分布点数目,然后从该省份的分布点中随机抽取相应数目的分布点用于后续的分析。经过以上筛选,最终得到油茶分布点数据174条,并转换成MaxEnt (3.3.3k)模型软件要求的csv格式。

1.2 环境图层数据

从世界气候数据库 WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) (Hijmans et al, 2005)下载1950–2000年世界气候的环境图层数据(包括19个生物气候变量和一个海拔变量,表1),选取图层的分辨率为30" (1 km × 1 km)。土壤数据来自北京师范大学的全球土壤数据库(<http://globalchange.bnu.edu.cn/research/>) (Wei et al, 2014),本研究仅选取与油茶生长相关的8个因子(表1)。图层的分辨率为30" (1 km × 1 km),这些图层依据土壤深度分为8层,本研究选取反映表层土的前4层(0–4.5、4.5–9.1、9.1–16.6和16.6–28.9 cm),通过ArcGIS的栅格计算器工具求得平均值图层数据。根据《世界山茶属的研究》(闵天禄, 2000),山茶属(*Camellia*)大致分布在7° S–35° N, 80°–140° E之间,而油茶组分布在长江以南、热带东喜马拉雅和中南半岛北部。因此,本研究利用ArcGIS软件中的Extract工具从世界环境图层中提取37° N至中南半岛南部, 85° E至我国东部的环境图层数据用于后续的分析。

由于各环境因子之间可能存在相关性,利用ArcGIS的空间分析工具,分别对19个生物气候变量和8个土壤变量进行相关性分析,当相关系数 $|r| \geq 0.8$ 时,仅选取其中的一个变量建立模型。最终选用16个环境变量(Bio1、Bio2、Bio3、Bio7、Bio12、Bio15、Bio17、Bio18、SAND、OC、TN、pH、EXK、BD、GRAV、VMC1)构建生态位模型。用ArcGIS软件中的Conversion工具将环境图层转换成ASCII格式。

表1 图层数据的环境变量
Table 1 Environmental variables in layers

环境变量 Environmental variable	描述 Description
Bio1	年平均温度 Annual mean temperature
Bio2	昼夜温差月均值 Mean diurnal range (Mean of monthly (max.temp. - min.temp.))
Bio3	昼夜温差与年温差比值 Isothermality (Bio2 / Bio7) ($\times 100$)
Bio4	温度季节变化 Temperature seasonality (Standard deviation $\times 100$)
Bio5	最热月份最高温 Max temperature of warmest month
Bio6	最冷月份最低温 Min temperature of coldest month
Bio7	年温度变化范围 Temperature annual range (Bio5 - Bio6)
Bio8	最湿季平均温度 Mean temperature of wettest quarter
Bi 9	最干季平均温度 Mean temperature of driest quarter
Bio10	最暖季平均温度 Mean temperature of warmest quarter
Bio11	最冷季平均温度 Mean temperature of coldest quarter
Bio12	年均降水量 Annual precipitation
Bio13	最湿月降水量 Precipitation of wettest month
Bio14	最干月降水量 Precipitation of driest month
Bio15	降水量季节性变异系数 Coefficient of variation of precipitation seasonality
Bio16	最湿季降水量 Precipitation of wettest quarter
Bio17	最干季降水量 Precipitation of driest quarter
Bio18	最暖季降水量 Precipitation of warmest quarter
Bio19	最冷季降水量 Precipitation of coldest quarter
Alt	海拔 Altitude
OC	土壤有机碳 Soil organic carbon
TN	土壤总氮 Soil total N
pH	土壤pH值(以水作为浸出液体) Soil pH value (with water as the leaching liquid)
EXK	土壤可交换钾 Soil exchangeable potassium
SAND	土壤含沙量 Soil sand content
GRAV	土壤碎石含量 Soil gravel content
BD	土壤容重 Soil bulk density
VMC1	土壤含水量 Soil volumetric water content at -10 kPa

1.3 MaxEnt模型分析

把油茶分布点数据和环境图层数据导入MaxEnt模型软件。在MaxEnt模型分析中,最大迭代次数设置为2,000, Bootstrap重复运算10次,并开启Random seed,勾选绘制响应曲线(response curves)与刀切法(jackknife)功能来分析影响油茶生长的环境变量。将80%的油茶分布点数据用于模型的构建和预测(训练数据),其余20%的数据用于模型检验(测试数据)。MaxEnt模型软件会自动绘制ROC曲线

(receiver operating characteristic curve)并计算曲线下面积AUC (areas under the receiver operating characteristic curves)来对模型的拟合效果进行评价。AUC的取值范围为0–1, $AUC < 0.5$ 表明模型预测效果很差, AUC 值为0.6–0.9表明模型预测效果一般, $AUC > 0.9$ 则表明模型的预测效果很好(王运生等, 2007)。因正则化乘数(regularization multiplier, β)的设置会对模型的拟合效果产生影响,并与模型的复杂性密切相关,较小的 β 值会导致过拟合(overfitting),较复杂的模型也更容易产生过拟合的问题,因此应在建模的过程中调整 β 值,以平衡模型的拟合效果和复杂性(Warren et al, 2014)。在MaxEnt模型分析过程中,首先选择16个环境变量建模,从0.2–15设置不同的 β 值,比较不同模型的拟合效果,训练数据AUC值和测试数据AUC值间的差值随 β 值的增加而减小并逐渐趋于稳定,最后选择两者间差值较小且均大于0.9的预测效果较好的模型作为最优模型($\beta = 1.6$)。然后,根据环境变量对模型的贡献率及刀切法分析结果,选取重要性高的变量组合重新调整 β 值建模。

MaxEn模型的预测结果采用0–1的分布概率值来表示物种在预测分布区中分布的适宜性,其中0表示不适宜,1表示非常适宜。依据MaxEnt模型预测的油茶分布的适宜程度,选用ArcGIS软件中的Reclass工具,对油茶的适生等级进行划分。在适生等级划分过程中,重分类的方法(Ayalew et al, 2004)有很多:在本研究中, Geometrical interval以及Quantile对高适生区划分的范围过宽,分别为0.13–0.76和0.23–0.76; Equal interval采用等间距划分,过于人为; Manual默认为10个等级,划分过细; Standard deviation对高适生区划分的范围过窄,为0.62–0.76; Defined interval把低于0.15划分为不适生区,过高的下限值会把适宜油茶生长的地区划为不适生区;用自然分割法(natural breaks)划分为4个适生等级,其结果最接近真实的油茶分布情况。最后,为了更加直观展示预测结果,在ArcGIS软件中将分析结果与中国行政区划和中国主要河流的数据进行叠加,这两份数据均来源于国家基础地理信息中心(<http://nfgis. nsdi.gov.cn/>)。

1.4 GARP模型分析

使用Dataset Manager将ASCII格式的环境图层数据转换成Desktop GARP (1.1.6)能够识别的格式。

然后,把物种分布点数据和环境图层数据导入到Desktop GARP。第一次运行时,采用全部16个环境图层数据,运行次数设置为1,000次,80%的数据用于建立模型,至少使用20个分布点数据作为训练数据(training data),重复运算次数最大值(max iteration)设为10,000,收敛极限(convergence limit)为0.01,规则类型(rule types)使用默认设置,生成ASC格式的图层。根据运行结果计算基础遗漏误差(omission error)。在选取最优的环境因子时,使用刀切法每次忽略一个环境因子,分别创建16组不同的模型。对于每组环境因子重复运行100次,共计创建1,600个模型。如果一个环境因子的缺失导致遗漏误差显著低于基础遗漏误差,则该环境因子将不被包含在最终的分析中(陈立立等,2008)。计算结果并未发现有某一个环境因子的缺少会导致遗漏误差显著低于基础遗漏误差,因此选择全部16个环境图层数据进行最终的分析。在最终分析中,根据所选择的环境图层重复创建3,000次模型。从获得的3,000份数据中,去除 omission error (int)不为0以及 omission error (ext) ≥ 0.05 的数据,按 omission error 从小到大排序,选择排前100位的数据,通过ArcGIS的空间分析模块(spatial analyst)进行叠加,然后利用栅格计算器工具将叠加后的图层除以100,使预测的分布概率值在0–1之间。用自然分割法将预测结果划分为4个适生等级,并把分析结果与中国行政区划和中国主要河流的数据进行叠加。

在ArcGIS中,通过Data Management Tools随机生成966个点作为“不存在点”(实际分布值为0),与随机抽取的34个已知分布点(测试数据,实际分布值为1)合并成一个图层,提取这1,000个点的模型预测值。导出该图层的属性表,利用SPSS 21软件绘制ROC曲线并计算AUC值。重复上述过程10次,计算AUC的平均值和置信区间。由于GARP模型预测结果的 omission error < 0.05 ,传统的AUC值计算方法可能无法准确评价该模型预测结果的可靠性,故采用部分面积ROC法(partial-area ROC approach)分别计算GARP模型和MaxEnt模型的部分AUC值(omission error < 0.05),比较不同模型的预测效果(Peterson et al, 2008)。

1.5 适生等级划分可靠性分析

2009年由国家发展改革委员会、财政部和国家林业局印发的《全国油茶产业发展规划(2009–2020

年)》(<http://zfxgk.ndrc.gov.cn/>)根据生长面积把油茶生长县分成4个等级:小于666.67 ha (小于1万亩)、666.67–3,333.33 ha (1–5万亩)、3,333.33–6,666.67 ha (5–10万亩)以及大于6,666.67 ha (大于10万亩)。湖南、江西和广西是油茶的主要产区,其面积占全国油茶总面积的76.2%。大于6,666.67 ha的油茶生长县湖南有49个,江西有45个,广西有18个。以这些油茶生长县作为适生区的参照,与生态位模型预测的油茶中、高适生区进行比较,对适生等级划分结果的可靠性进行检验。在ArcGIS中,叠加生态位模型的预测结果与中国行政区划的县级行政界线图层,通过ArcGIS的栅格计算器工具,把不同的适生区呈现出来,分析江西、广西、湖南3省现有面积大于6,666.67 ha的油茶生长县是否位于预测的中、高适生区内。

1.6 野生油茶分布点的实地考察

为了进一步验证生态位模型预测的野生油茶分布的可靠性,选取纬度梯度的部分代表性野生油茶分布点进行实地考察,主要是确定是否有野生油茶分布。本研究中野生油茶的判断标准是:生境自然,没有明显的人工栽培痕迹;油茶的株型不一致,具有明显的年龄结构,可以长期生长和繁殖,种群可以自然更新。

2 结果

2.1 生态位模型模拟的准确性

本研究中,运用MaxEnt模型,基于16个环境变量建模的训练数据AUC值为0.946,测试数据AUC值为0.915 (95%置信区间: 0.906–0.924)。运用GARP模型,基于16个环境变量建模的测试数据AUC值为0.939 (95%置信区间: 0.936–0.943)。采用部分面积ROC法计算测试数据的部分AUC值(omission error < 0.05),MaxEnt模型为0.756 (95%置信区间: 0.741–0.771),GARP模型为0.879 (95%置信区间: 0.869–0.888)。基于测试数据,MaxEnt模型和GARP模型的AUC值均大于0.9,说明两者都可以较好地拟合实际的油茶分布数据;此外,MaxEnt模型的AUC值和部分AUC值均显著低于GARP模型。GARP模型预测的油茶分布区更广,涵盖了全部的已知分布点地区,并扩展到许多没有油茶分布点数据的地区。且GARP模型所预测的大部分分布区的分布概率都是100%。相比而言,MaxEnt模型预测的

油茶分布区范围较小,主要限于有已知分布点的地区,但预测结果更为精确,可以明显分成不同的适生区。因此,本研究综合两种模型的预测结果进行分析。

2.2 影响油茶分布的主要环境变量

在MaxEnt模型中,刀切法显示:最干季降水量、降水量季节性变异系数、昼夜温差月均值、最暖季降水量、年平均温度、年均降水量、年温度变化范围、昼夜温差与年温差比值是影响油茶分布的主要环境变量(图1),累积贡献率达到85.2%。其中,昼夜温差月均值(贡献率25.1%)、最干季降水量(贡献率18.6%)与最暖季降水量(贡献率11.3%)是对模型贡献最大的环境变量(累计贡献率55%)。昼夜温差月均值小于9.2℃时比较适合油茶的分布(分布概率值为0.29–0.76)(图2);昼夜温差月均值大于9.8℃时不适合油茶的分布(分布概率值为0–0.10)。最干季降水量在45–335 mm时比较适合野生油茶的分布(分布概率值为0.29–0.76)(图3);最干季降水量低于36 mm或高于427 mm时,不适合油茶的分布(分布概率值为0–0.10)。最暖季降水量在443–833 mm时比较适合油茶的分布(分布概率值为0.29–0.76)(图4);最暖季降水量低于415 mm或高于1,288 mm时,不适合油茶的分布(分布概率值为0–0.10)。选取对模型贡献最大的8个环境变量重新构建MaxEnt模型(最优模型 $\beta = 1.6$),训练数据AUC值为0.920,测试数

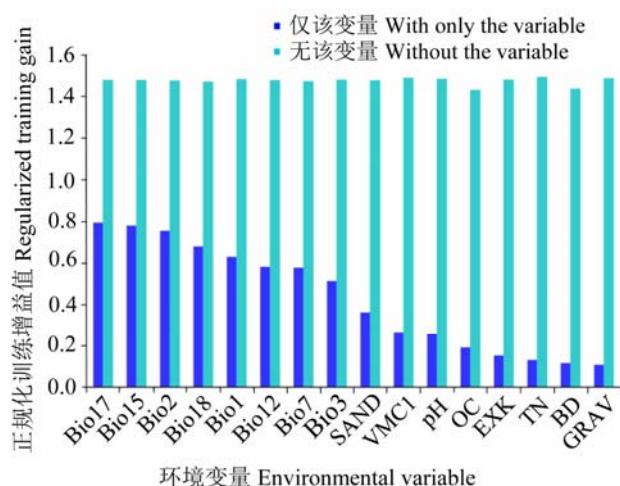


图1 MaxEnt模型的刀切法分析结果,环境变量含义见表1
Fig. 1 Results of jackknife test in MaxEnt model, environmental variable meanings are shown in Table 1.

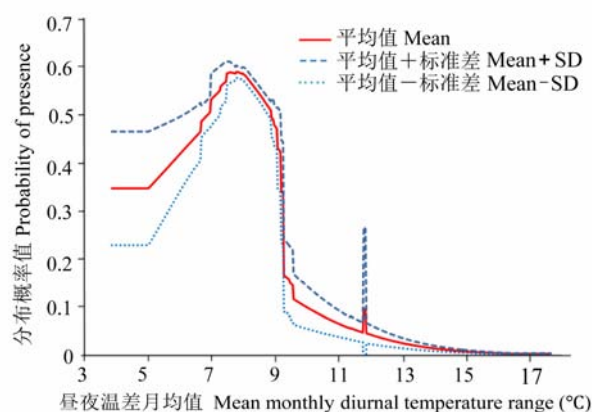


图2 MaxEnt模型分布概率值对昼夜温差月均值的响应曲线
Fig. 2 Response curves of probabilities of presences to mean monthly diurnal temperature range in MaxEnt model

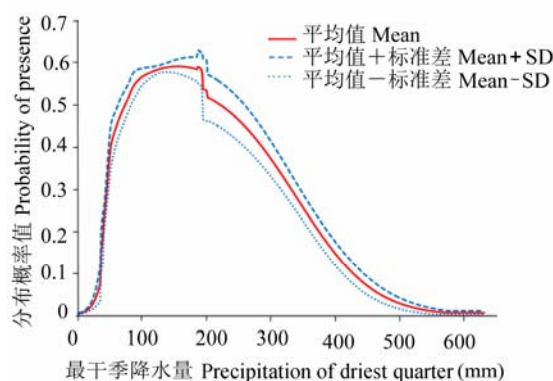


图3 MaxEnt模型分布概率值对最干季降水量的响应曲线
Fig. 3 Response curves of probabilities of presences to precipitation of driest quarter in MaxEnt model

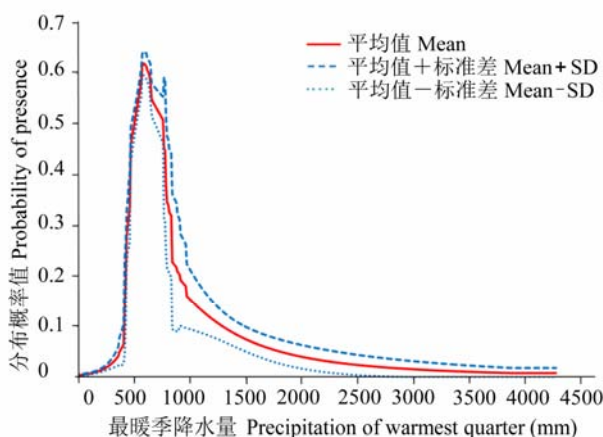


图4 MaxEnt模型分布概率值对最暖季降水量的响应曲线
Fig. 4 Response curves of probabilities of presences to precipitation of warmest quarter in MaxEnt model

据AUC值为0.902 (95%置信区间: 0.888–0.916), 与16个变量模型的AUC值无显著差异。故以下分析主要基于8个环境变量构建的MaxEnt模型的预测结果。

2.3 MaxEnt模型预测的野生油茶分布区

MaxEnt模型所预测的油茶分布情况如图5所示。其中原始分布点是中国数字植物标本馆中记录的174个可靠的油茶分布点, 图中不同颜色对应按自然分割法划分的不同适生等级。自然分割法依据油茶的分布概率值把适生度划分为4个等级: 0.00–0.10为不适生区、0.10–0.29为低适生区、0.29–0.49为中适生区以及0.49–0.76为高适生区。野生油茶的高适生区跨越22.717°–32.254° N, 103.373°–121.547° E。潜在分布区主要位于中国, 中南半岛的越南、老挝、缅甸等国可能也有少量分布。在中国的潜在分布区与亚热带常绿阔叶林的分布区基本吻合。

MaxEnt模型所预测的油茶高适生区也是一些主要山脉所在的区域, 大体可以分为3大区域: (1) 东北–西南走向的武夷山脉及附近的群山区域, 主要包括仙霞岭、怀玉山、括苍山、武夷山、杉岭、戴云山等。(2) 东西走向的南岭山脉及附近的群山区域, 主要包括大庾岭、南岭、骑田岭、都庞岭、越城岭、大瑶山、九万大山、凤凰山等。(3) 东北–西南走向的武陵山脉及附近的群山区域, 主要包括观面山、方斗山、大娄山、武陵山、苗岭等。生态位模型预测的油茶中适生区则主要围绕高适生区分布。

2.4 GARP模型预测的野生油茶分布区

GARP模型所预测的油茶分布情况如图6所示, 其中原始分布点同样是中国数字植物标本馆中记录的174个可靠的油茶分布点, 图中不同颜色对应按自然分割法划分的不同适生等级。自然分割法依据油茶的分布概率值把适生度划分为4个等级: 0.00–0.13为不适生区、0.13–0.44为低适生区、0.44–0.80为中适生区以及0.80–1.00为高适生区。GARP模型预测的野生油茶分布区较MaxEnt模型要广, 大部分预测的野生油茶分布区都是高适生区, 跨越11.29°–32.962° N, 85°–122.07° E。高适生区主要分布在中国的长江流域及其以南各省, 在越南、老挝、泰国、缅甸、孟加拉、印度等国家也有高适生区分布。中适生区则仅在高适生区的边缘有少量分布。

2.5 适生等级划分可靠性分析

根据《全国油茶产业发展规划(2009–2020年)》, 以油茶主产区湖南、江西和广西油茶生长面积大于6,666.67 ha的县为例, 对适生等级划分结果的可靠性进行分析。根据MaxEnt模型的预测结果, 湖南仅有2个县(冷水滩区和汉寿县)位于低适生区, 其他47个县均位于中、高适生区, 占所调查地区的95.9%; 江西仅有2个县(高安市和樟树市)位于低适生区, 其他43个县均位于中、高适生区, 占所调查地区的95.6%; 广西的18个县均位于中、高适生区, 占所调查地区的100%。根据GARP模型的预测结果, 所有这些县均位于高适生区。以上结果显示, 油茶生长面积较大的地区基本上位于生态位模型预测的中、高适生区内。可见, 本研究所获得的生态位模型均可较为准确地预测油茶的适生分布区。

2.6 野生油茶分布点的实地考察

选取反映野生油茶纬度梯度分布的9个代表性样点进行了实地考察(图5, 6)。在调查中发现, 这些地点均有油茶分布, 其中7个有野生油茶分布(表2)。

海南澄迈的油茶主要分布在橡胶(*Hevea brasiliensis*)林边缘。据调查该地区曾经有油茶栽培, 后改为橡胶林, 故也可能是废弃的栽培油茶。井冈山海拔较低地区受人工干扰较大: 在园潭样点, 当地居民把除油茶外的其他树木几乎砍光, 而且附近有栽培油茶林, 因此可能主要是栽培油茶田; 海拔较高的狮子岩和草坪样点有大量野生油茶分布。

据中国数字植物标本馆数据显示, 浙江天目山有不少油茶标本, 但是实地考察发现, 大部分的标本采集地点均没有发现油茶, 野生油茶的分布较少, 可能与当地较强的人类活动干扰有关。在河南白云山有大量油茶分布, 但是具有明显人工栽培痕迹, 推测可能是栽培油茶。在调查的样点中, 广东南岭的野生油茶分布数量最多, 这与MaxEnt模型的预测结果相吻合。实地考察结果说明生态位模型的预测结果对于寻找野生油茶资源具有较高的参考价值。

3 讨论

本研究基于MaxEnt和GARP两种生态位模型对野生油茶的潜在分布区进行了预测。研究发现, 两种模型的预测结果均能较好地反映油茶的分布情

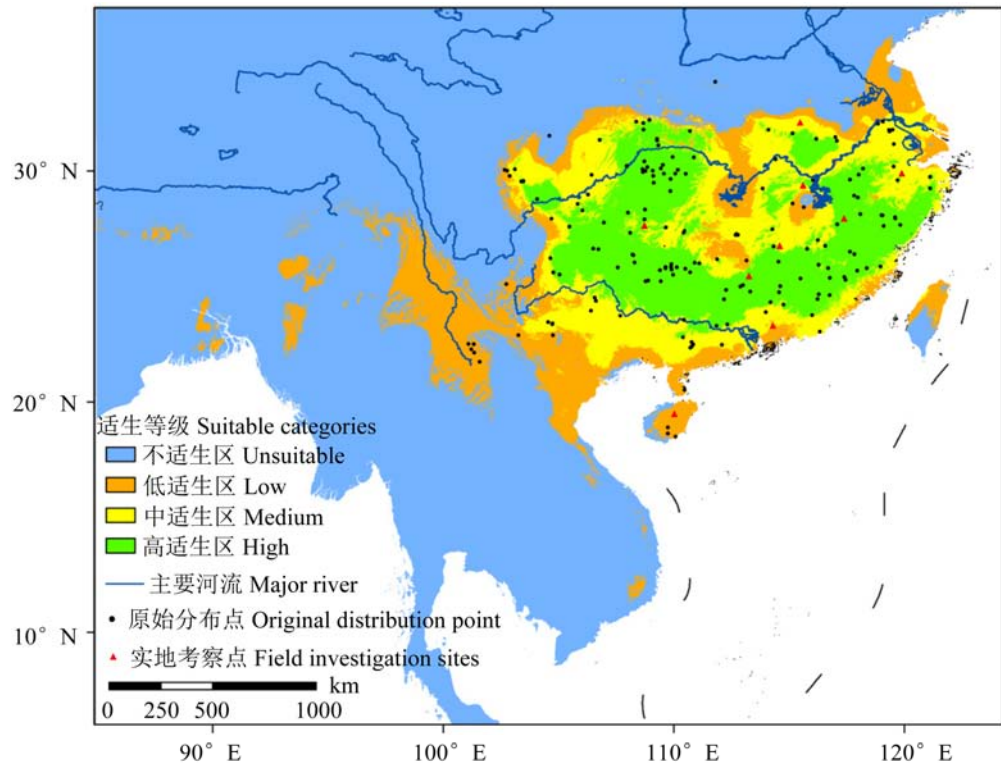


图5 MaxEnt模型预测的野生油茶分布图
Fig. 5 Distribution map of wild *Camellia oleifera* predicted by the MaxEnt model

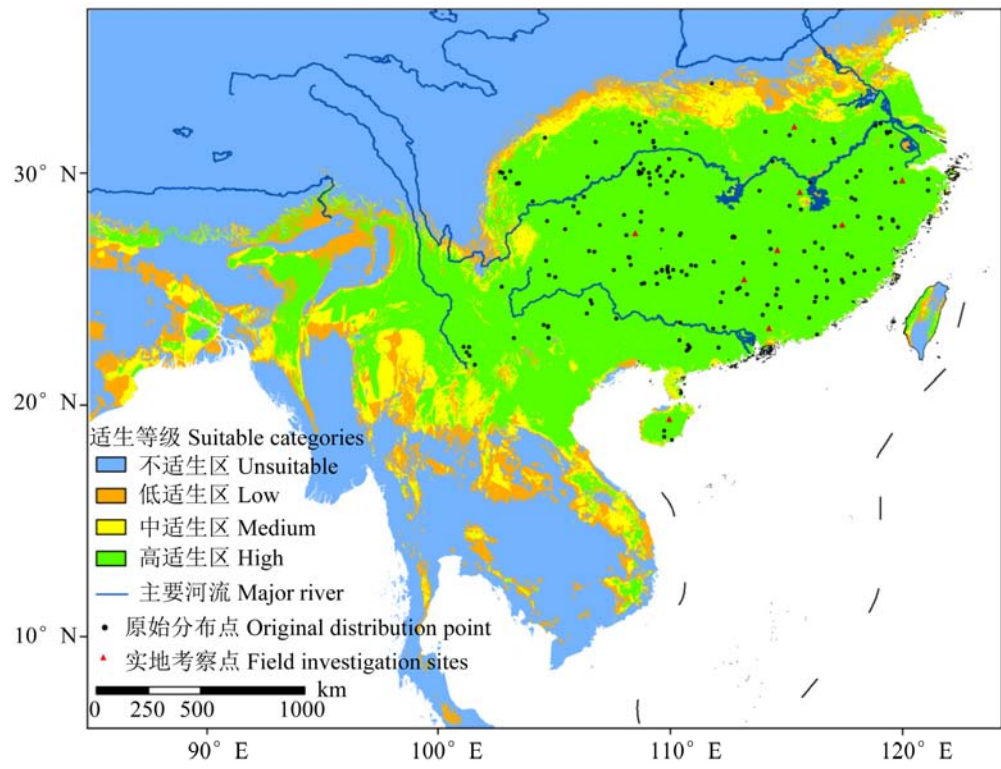


图6 GARP模型预测的野生油茶分布图
Fig. 6 Distribution map of wild *Camellia oleifera* predicted by the GARP model

表2 野生油茶实地考察点概况
Table 2 Summary of the field investigation sites of wild *Camellia oleifera*

编号 Code	地点 Location	纬度 Latitude (°N)	经度 Longitude (°E)	海拔 Altitude (m)	预测分布概率 Predicted probability of presence (MaxEnt/GARP)	频率 Frequency	生境 Habitat	人为干扰 Human disturbances	备注 Remarks
1	海南澄迈 Chengmai, Hainan	19.58	110.02	98	0.20/0.99	中 Medium	路边、疏林 Roadside, open forest	强 Strong	可能为栽培 Possibly cultivated
2	广东罗浮山 Luofu Mountain, Guangdong	23.28	114.02	1,125–1,212	0.25/0.65	中 Medium	路边、疏林 Roadside, open forest	中度 Medium	野生 Wild
3	广东南岭 Nanling Mountain, Guangdong	24.90	113.06	547–861	0.60/1.00	高 High	路边、疏林 Roadside, open forest	弱 Weak	野生 Wild
4	江西井冈山 Jinggang Mountain, Jiangxi	26.55	114.17	412–978	0.61/1.00	高 High	路边、疏林 Roadside, open forest	中度 Medium	低海拔可能为栽培区 Possibly cultivated at low altitudes
5	江西马头山 Matou Mountain, Jiangxi	27.73	117.16	506–515	0.62/1.00	中 Medium	路边、疏林 Roadside, open forest	弱 Weak	野生 Wild
6	江西庐山 Lushan Mountain, Jiangxi	29.60	115.98	256–874	0.56/1.00	高 High	路边、疏林 Roadside, open forest	中度 Medium	野生 Wild
7	浙江天目山 Tianmu Mountain, Zhejiang	30.32	119.44	411–463	0.41/1.00	极低 Extremely low	路边、疏林 Roadside, open forest	强 Strong	野生 Wild
8	河南白云山 Baiyun Mountain, Henan	31.66	115.07	137	0.48/1.00	极高 Extremely high	路边、疏林 Roadside, open forest	极强 Very strong	栽培 Cultivated
9	贵州梵净山 Fanjing Mountain, Guizhou	27.91	108.63	983–1,332	0.61/1.00	高 High	路边、疏林 Roadside, open forest	中度 Medium	野生 Wild

况,但MaxEnt模型预测结果的AUC值和部分AUC值均显著低于GARP模型。GARP模型所预测的分布区范围较广,更能反映潜在分布区的范围,但可能假阳性率较高。MaxEnt模型的预测结果较为保守,但可能更为精确。因此,整合MaxEnt和GARP模型的预测结果,充分利用彼此的优势,可以更为全面地了解野生油茶的潜在分布情况。王运生等(2007)应用常见的包括MaxEnt和GARP在内的5种生态位模型分析相似穿孔线虫(*Radopholus similis*)在中国的适生区,结果发现MaxEnt模型的预测效果最好。张海娟等(2011)在分析入侵种薇甘菊(*Mikania micrantha*)在中国的适生区时,也发现MaxEnt模型的预测结果要优于GARP模型。但是也有研究显示GARP模型的预测结果要优于MaxEnt模型(Sobek-Swant et al, 2012)。刘欣(2012)^①在分析空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)在中国的入侵风险时也认为,MaxEnt模型在预测分布细节上优于GARP模

型,但GARP模型在预测整体分布范围上比MaxEnt模型略胜一筹。因此,进行生态位模型分析的时候,应尝试多种模型,并把预测结果与实际分布情况进行比较,对不同模型的预测结果进行综合评价与分析,而不能仅基于AUC值评判模型的优劣。

Pearson等(2007)发现,当样本量≥5时,MaxEnt模型就可以进行比较成功的预测,样本量< 10时,GARP模型的预测效果不是很好。陈新美等(2012)在对4个物种的34组不同样本量(最大样本量为1,200)的研究中发现,当样本量达到120时,MaxEnt模型的精度趋于稳定。本研究的油茶生态位模型是基于中国数字植物标本馆中174份可靠的油茶分布点数据所构建的,大量准确的油茶分布点数据为生态位模型的准确性提供了有力保障。根据闵天禄先生主编的《世界山茶属的研究》,油茶主要分布在中国,在中南半岛可能有少量分布(闵天禄, 2000)。本研究中,MaxEnt模型和GARP模型所预测的野生油茶潜在分布区大部分是重叠的,主要位于中国的长江流域及其以南各省,此外在中南半岛也有分

① 刘欣 (2012) 基于 GARP 和 MAXENT 的空心莲子草在中国的入侵风险预测. 硕士学位论文, 山东师范大学, 济南.

布。根据中国植被区划, MaxEnt模型所预测的油茶分布区域与我国亚热带常绿阔叶林的分布区基本吻合, 而所预测的油茶高适生区则主要位于中亚热带常绿阔叶林分布区内。闵天禄(2000)指出, 山茶属植物是亚热带常绿阔叶林所固有的特征种类。陈卫娟(2006)的研究也表明山茶属是中亚热带常绿阔叶林的代表性属之一。油茶作为山茶属中分布最广的物种之一, 其潜在的分布区大致反映了山茶属的分布区特征, 这与前人的研究结果相吻合。

根据目前油茶在主产区湖南、江西和广西的分布, 这3省中现有油茶面积大于6,666.67 ha的县大部分位于生态位模型预测的中、高适生区, 说明适生等级的划分能够较准确地反映油茶的实际分布状况。此外, 本研究中对油茶进行不同适生等级的划分是为了便于分析, 因此所预测的低适生区并非不适合油茶生长, 只是说明油茶分布较少。通过MaxEnt模型预测的野生油茶分布图可以看出, 现为油茶第一主产区的湖南省, 野生油茶的高适生区面积并不是最大的, 而贵州、广西和福建相比而言存在更多的高适生区。出现这一现象的可能原因是, 本研究主要针对野生油茶, 研究结果反映了油茶的自然分布状况。而湖南省一直重视发展油茶产业, 在油茶育种、栽培和生产技术方面均居于全国领先地位。这也充分说明其他的适合油茶生长的省份如贵州、广西和福建等省还蕴含着巨大的产业发展潜力。GARP模型预测的高适生区更广, 可以在推广栽培油茶时作为潜在适生区的参考。

根据MaxEnt模型的分析结果, 对油茶分布起关键作用的环境因子是昼夜温差月均值、最干季降水量与最暖季降水量。土壤因子在MaxEnt模型中的贡献值并不高。相关研究也显示, 在大尺度下, 物种分布主要受气象因子的影响, 只有在小尺度下, 土壤理化性质所造成的影响才会比较显著(朱耿平等, 2014)。《中国油茶(第二版)》(庄瑞林, 2012)中也指出, 气温和降水是影响油茶生长发育、完成生命周期的主导气候因子。此外, 降水与气温也是影响其他木本植物分布的关键气候因子, 但具体的影响因子在不同物种中可能不一致。例如, 对我国辽东栎(*Quercus wutaishanica*)地理分布影响最大的是年均降水量和最冷月最低温(殷晓洁等, 2013); 影响檀香(*Santalum album*)分布的主要气候因子是年平均温度与最冷月最低温(胡秀, 2014); 影响湖北海

棠(*Malus hupehensis*)地理分布的最重要因子是最干季平均温(王雷宏等, 2013)。

MaxEnt模型所预测的油茶高适生区可能有大量野生油茶分布, 应是调查研究的重点区域。其中, 武夷山脉、南岭山脉和武陵山脉及其附近的低山丘陵地区属于野生油茶的核心分布区, 这些地区分布的野生油茶可能蕴含着极其丰富的遗传多样性, 应注意优先开展研究与保护。本研究在实地调查的过程中发现了大量的野生油茶, 这在一定程度上印证了生态位模型的预测结果。实地考察也显示, 野生油茶主要分布在路边或疏林中, 可能会受到强烈的人类活动影响。应加大对野生油茶的调查力度, 为进一步对其进行有效保护与合理利用奠定基础。

本研究结果表明, 利用中国数字植物标本馆的植物分布数据, 结合相应的环境数据构建生态位模型, 可了解作物野生近缘种的地理分布, 促进作物野生近缘种的保护、发掘与利用。

参考文献

- Ayalew L, Yamagishi H, Ugawa N (2004) Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1, 73–81.
- Che L, Cao B, Bai CK, Wang JJ, Zhang LL (2014) Predictive distribution and habitat suitability assessment of *Notholirion bulbiferum* based on MaxEnt and ArcGIS. *Journal of Ecology*, 33, 1623–1628. (in Chinese with English abstract) [车乐, 曹博, 白成科, 王娟娟, 张琳琳 (2014) 基于MaxEnt和ArcGIS对太白米的潜在分布预测及适宜性评价. *生态学杂志*, 33, 1623–1628.]
- Chen LL, Yu Y, He XJ (2008) Historical invasion and expansion process of *Alternanthera philoxeroides* and its potential spread in China. *Biodiversity Science*, 16, 578–585. (in Chinese with English abstract) [陈立立, 余岩, 何兴金 (2008) 喜旱莲子草在中国的入侵和扩散动态及其潜在分布区预测. *生物多样性*, 16, 578–585.]
- Chen WJ (2006) Floristic Phytogeography of Evergreen Broad-leaved Forest (EBLF) in Mid-subtropical China. PhD dissertation, East China Normal University, Shanghai. (in Chinese with English abstract) [陈卫娟 (2006) 中亚热带常绿阔叶林植物区系地理研究. 博士学位论文, 华东师范大学, 上海.]
- Chen XM, Lei YC, Zhang XQ, Jia HY (2012) Effects of sample size on accuracy and stability of maximum entropy model in predicting species distribution. *Scientia Silvae Sinicae*, 48(1), 53–59. (in Chinese with English abstract) [陈新美, 雷渊才, 张雄清, 贾宏炎 (2012) 样本量对MaxEnt模型预测物种分布精度和稳定性的影响. *林业科学*,

- 48(1), 53–59.]
- Chen YZ (2008) Oil Tea *Camellia* Superior Germplasm Resources. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [陈永忠 (2008) 油茶优良种质资源. 中国林业出版社, 北京.]
- Chen YZ, Luo J, Wang R, Chen LS, Wang XN (2013) Current status and prospects for the development of oil tea industry in China. *Grain Science and Technology and Economy*, (1), 10–12. (in Chinese) [陈永忠, 罗健, 王瑞, 陈隆升, 王湘南 (2013) 中国油茶产业发展的现状与前景. 粮食科技与经济, (1), 10–12.]
- Hajjar R, Hodgkin T (2007) The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. *Euphytica*, 156, 1–13.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- Hu BL, Wan Y, Wu L, Li X, Zhang JW, Luo XD, Xie JK (2011) Research advances in genetic diversity and its ecological conservation of endangered Dongxiang wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27, 5–11. (in Chinese with English abstract) [胡标林, 万勇, 郭磊, 李霞, 张金伟, 罗向东, 谢建坤 (2011) 濒危东乡野生稻遗传多样性及其生态保护学研究进展. 中国农学通报, 27, 5–11.]
- Hu X, Wu FC, Guo W, Liu N (2014) Identification of potential cultivation region for *Santalum album* in China by the MaxEnt ecologic niche model. *Scientia Silvae Sinicae*, 50(5), 27–33. (in Chinese with English abstract) [胡秀, 吴福川, 郭微, 刘念 (2014) 基于MaxEnt生态学模型的檀香在中国的潜在种植区预测. 林业科学, 50(5), 27–33.]
- Jing PF, Wu KY, Gong Y, Han LM, Cui LJ (2015) Prediction of potential geological distribution of *Asarum* in China by MaxEnt model. *Plant Diversity and Resource*, 37, 349–356. (in Chinese with English abstract) [景鹏飞, 武坤毅, 龚晔, 韩立敏, 崔浪军 (2015) 药用植物细辛在中国的潜在适生区分布. 植物分类与资源学报, 37, 349–356.]
- Lei JC, Xu HG (2010) MaxEnt-based prediction of potential distribution of *Solidago canadensis* in China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 26, 137–141. (in Chinese with English abstract) [雷军成, 徐海根 (2010) 基于MaxEnt的加拿大一枝黄花在中国的潜在分布区预测. 生态与农村环境学报, 26, 137–141.]
- Min TL (2000) Monograph of the Genus *Camellia*. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [闵天禄 (2000) 世界山茶属的研究. 云南科技出版社, 昆明.]
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT (2007) Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117.
- Peterson AT, Papeş M, Soberón J (2008) Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213, 63–72.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Raxworthy CJ, Martinez-Meyer E, Horning N, Nussbaum RA, Schneider GE, Ortega-Huerta MA, Peterson AT (2003) Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, 426, 837–841.
- Roura-Pascual N, Suarez A V, Gómez C, Pons P, Touyama Y, Wild AL, Peterson AT (2004) Geographical potential of Argentine ants (*Linepithema humile* Mayr) in the face of global climate change. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 271, 2527–2535.
- Sobek-Swant S, Kluza D A, Cuddington K, Lyons DB (2012) Potential distribution of emerald ash borer: what can we learn from ecological niche models using MaxEnt and GARP? *Forest Ecology and Management*, 281, 23–31.
- USDA-FAS (2015) Oilseeds: world markets and trade, 07. 10. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/fas/oilseed-trade//2010s/2015/oilseed-trade-07-10-2015.pdf>. (accessed on 2016-06-15)
- Waltari E, Hijmans RJ, Peterson AT, Nyári ÁS, Perkins SL, Guralnick RP (2007) Locating Pleistocene refugia: comparing phylogeographic and ecological niche model predictions. *PLoS ONE*, 2, e563.
- Wang LH, Yang JX, Huang CL (2013) Modelling geographic distribution of *Malus hupehensis* with MaxEnt. *Journal of Anhui Agricultural University*, 40, 383–386. (in Chinese with English abstract) [王雷宏, 杨俊仙, 黄成林 (2013) 用MaxEnt模拟湖北海棠(*Malus hupehensis*)地理分布. 安徽农业大学学报, 40, 383–386.]
- Wang LH, Yang JX, Xu XN (2015) Analysis of suitable bioclimatic characteristics of *Pseudolarix amabilis* by using MaxEnt model. *Scientia Silvae Sinicae*, 51, 127–131. (in Chinese with English abstract) [王雷宏, 杨俊仙, 徐小牛 (2015) 基于MaxEnt分析金钱松适生的生物气候特征. 林业科学, 51 (1), 127–131.]
- Wang YS, Xie BY, Wan FH, Xiao QM, Dai LY (2007) Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models. *Biodiversity Science*, 15, 365–372. (in Chinese with English abstract) [王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英 (2007) ROC曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 15, 365–372.]
- Warren DL, Wright AN, Seifert SN, Shaffer HB (2014) Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. *Diversity and Distributions*, 20, 334–343.
- Wei SG, Dai YJ, Duan QY, Liu BY, Yuan H (2014) A global soil data set for earth system modeling. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 6, 249–263.
- Yin XJ, Zhou GS, Sui XH, He QJ, Li RP (2013) Potential geo-

- graphical distribution of *Quercus wutaishanica* forest and its dominant factors. *Scientia Silvae Sinicae*, 49(8), 10–14. (in Chinese with English abstract) [殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 何奇瑾, 李荣平 (2013) 辽东栎林潜在地理分布及其主导因子. 林业科学, 49(8), 10–14.]
- Yu YB, Wang QL, Kell S, Maxted N, Ford-Lloyd BV, Wei W, Kang DM, Ma KP (2013) Crop wild relatives and their conservation strategies in China. *Biodiversity Science*, 21, 750–757. (in Chinese with English abstract) [于燕波, 王群亮, Kell S, Maxted N, Ford-Lloyd BV, 魏伟, 康定明, 马克平 (2013) 中国栽培植物野生近缘种及其保护对策. 生物多样性, 21, 750–757.]
- Zhang HJ, Chen Y, Huang LJ, Ni HW (2011) Predicting potential geographic distribution of *Mikania micrantha* planting based on ecological niche models in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27, 413–418. (in Chinese with English abstract) [张海娟, 陈勇, 黄烈健, 倪汉文 (2011) 基于生态位模型的薇甘菊在中国适生区的预测. 农业工程学报, 27, 413–418.]
- Zhu GP, Liu GQ, Bu WJ, Gao YB (2013) Ecological niche modeling and its applications in biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 21, 90–98. (in Chinese with English abstract) [朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 高玉葆 (2013) 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. 生物多样性, 21, 90–98.]
- Zhu GP, Liu Q, Gao YB (2014) Improving ecological niche model transferability to predict the potential distribution of invasive exotic species. *Biodiversity Science*, 22, 223–230. (in Chinese with English abstract) [朱耿平, 刘强, 高玉葆 (2014) 提高生态位模型转移能力来模拟入侵物种的潜在分布. 生物多样性, 22, 223–230.]
- Zhuang RL (2012) *Oil-tea Camellia in China*, 2nd edn. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [庄瑞林 (2012) 中国油茶, 第2版. 中国林业出版社, 北京.]

(责任编辑: 张大勇 责任编辑: 黄祥忠)

•研究报告•

蕨类植物不同孢子裂缝类型在中国的分布格局

魏雪苹^{1,2} 张宪春^{1*}¹ (中国科学院植物研究所系统与进化植物学国家重点实验室, 北京 100093)² (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 孢子在蕨类植物分类及有性生殖过程中具有重要地位, 一般都具有裂缝构造, 常见的是单裂缝和三裂缝, 极少数情况下有多裂缝的变异类型。我们统计了中国蕨类2,281种(含种下单位)的孢子裂缝类型, 来探讨两种不同裂缝类型的分布格局。结果表明: (1)具有单裂缝类型的物种数多于三裂缝类型, 单裂缝与三裂缝物种数目的比值(单/三比)与纬度和海拔呈正相关。随着温度下降以及降水量的降低, 具单裂缝孢子的物种比例增加。推测具单裂缝孢子的蕨类分布范围更广, 更适宜生活在干旱及高纬度或高海拔寒冷地区, 而具三裂缝孢子的蕨类更适宜存在于低纬度或低海拔的温暖地区; (2)蕨类植物孢子裂缝类型不是单次起源, 可能存在平行演化。本研究可以为蕨类植物的起源演化与生态适应等研究提供一定的证据。

关键词: 单裂缝孢子; 三裂缝孢子; 平行演化; 生态适应

Distributional patterns of the monolete and trilete ferns in China

Xueping Wei^{1,2}, Xianchun Zhang^{1*}¹ State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: Spores are important for fern classification and sexual reproduction and they usually have apertures; monolete (bilateral) and trilete (tetrahedral) are the two common types. All of the 2,281 native Chinese fern species (including subspecies and varieties) were included in our survey of monolete and trilete species ratios and their distribution patterns. Result revealed that (1) the number of monolete species was higher than the number of trilete, and there was a positive correlation between the ratio of monolete: trilete species (MTR) and latitude, and also between MTR and altitude. MTR was also shown to increase with decreases in temperature and rainfall. Monolete ferns were found to have larger distributional areas than trilete ones and to be more tolerant to a colder and drier climate. It is hypothesized that monolete ferns have a strong capacity to adapt to an extreme habitat; and that (2) neither monolete nor trilete spore are of single origin as parallel evolution might exist during the evolution of ferns. This study sheds new light on niche adaptation in ferns, as well as the evolution and diversification of ferns.

Key words: monolete spores; trilete spores; parallel evolution; niche adaptation

蕨类植物几乎遍布世界各地, 现代蕨类植物在物种数量及繁茂程度上是以温带及热带为其分布中心的。在北半球, 我国的石松类和蕨类植物种类最为丰富, 分布有世界1/5的种类(张宪春, 2012)。孢子囊是蕨类植物最重要的繁殖器官, 孢子囊中的孢子母细胞通常经过减数分裂, 产生四分体, 分离后便形成4个孢子。在四分体时期, 每个孢子在近极面

和相邻的孢子相接触形成四分体痕。一般地, 辐射对称的孢子为三裂缝痕, 左右对称的孢子为单裂缝痕, 分别形成三裂缝(trilete)孢子和单裂缝(monolete)孢子, 在很少数的情况下, 孢子无裂缝(alete) (张玉龙等, 1976)。孢子从裂缝处萌发, 长出假根, 在无裂缝的孢子中, 常从孢壁较薄的地方开裂。蕨类植物孢子裂缝的类型在蕨类植物系统演化

收稿日期: 2016-08-09; 接受日期: 2016-10-08

基金项目: 国家自然科学基金(31470317)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhangxc@ibcas.ac.cn

上有着重要的指示意义,是蕨类植物分类及孢子鉴定的重要性状(张玉龙, 1963; Warren & Wagner, 1974)。现在普遍认为三裂缝类型的孢子是原始类型,单裂缝孢子是进化类型(Read, 1950; Traverse, 2007)。Ito (1972, 1978)对亚洲11个地点和全球尺度上64个地点的孢子裂缝类型的分布格局进行了分析,指出单裂缝和三裂缝孢子的比例在北半球随着纬度和海拔的升高而增大,其中中国只调查了秦岭、东北地区和台湾3个地区。Pausas和Sáez (2000)探讨了欧洲14个地区孢子裂缝类型的分布格局,指出单裂缝和三裂缝孢子类型蕨类的数目比例一般随纬度和海拔的升高而增加。蕨类植物孢子裂缝类型可以反映植物的进化关系及对生态环境的适应性。通过对现生蕨类植物孢子与土壤及底层中的孢粉相对比,可以探讨气候及环境变化。我国地域辽阔,地形复杂,蕨类植物丰富,对孢子裂缝类型分布格局的研究可以为研究蕨类植物的适应性进化提供资料。

1 方法

根据《中国植物志》(中国植物志编辑委员会, 1959–2004)中的物种名,查阅资料或在光学显微镜下观察孢子形态,得到中国2,281种(含种下单位,下同)蕨类植物的孢子裂缝类型(张玉龙等, 1976; 王全喜和戴锡玲, 2010) (附录1),其中水龙骨科中的伏石蕨属(*Lemmaphyllum*)、石韦属(*Pyrrosia*)和瓦韦属(*Lepisorus*)的孢子形态为作者在光学显微镜下观察得出。根据省/地区、纬度范围、蕨类植物地理分布区(严岳鸿等, 2013)、不同海拔段以及不同气温带和等降水量线,分别统计单裂缝孢子物种数和三裂缝孢子物种数的比值(MTR: 以下简称单/三比值或R),并构建单/三比值在不同纬度带和海拔梯度的线性回归方程,检测该比值在上述分区的分布格局。基于目前最新的蕨类系统(Smith et al, 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013; 张宪春和孙久琼, 2015)探讨孢子裂缝类型的进化关系。

2 结果

2.1 中国各省(地区)的单/三比值

2,281种蕨类中具有单裂缝孢子的物种数为1,689种,其中木贼科的孢子具有无裂缝或无裂缝到单裂缝的过渡类型,均按照单裂缝计数,三裂缝

的为592种,单裂缝孢子的物种数明显多于三裂缝物种数,比值为2.85。分别统计了全国各省(地区)单裂缝三裂缝孢子的物种数,物种最多的为云南省,约1,230种,最少的为天津和宁夏,为26种。单/三比值最低的前5位依次为澳门(1.03)、天津(1.36)、海南(1.55)、香港(1.64)和广东(1.90),它们的比值均小于2;最大的前5位依次为新疆(5.38)、内蒙古(4.70)、安徽(4.42)、吉林(4.25)、黑龙江(4.15),它们的比值均大于4(表1)。

2.2 不同纬度带的单/三比值

从低纬度到高纬度划分7个纬度带,每个纬度带具有的单、三裂缝孢子的蕨类数目及其单/三比值见表2。其中0°–20°N的单/三比值最低,为1.55,45°–55°N最高,为3.82。构建单/三比值的回归方程为 $y = 0.32x + 1.77$ ($r^2 = 0.76$, $P < 0.01$),表明单/三比值与纬度呈现显著的正相关(图1)。

2.3 不同地理分布区的单/三比值

单/三比值按照蕨类植物地理分布区统计结果为华南: 2.09, 华东: 2.45, 华北: 2.70, 西北: 3.12, 西南: 3.17, 华中: 3.24, 东北: 3.67; 按照蕨类植物的地理分区,华东亚区: 1.65, 华南亚区: 1.90, 泛北极亚区: 2.79, 三峡亚区: 2.99, 江淮亚区: 3.75。如果沿长江流域划分,长江流域及以南地区单/三比值为2.64,长江流域以北为3.15。另外,我们还统计了中国生物多样性较高的4个热点地区的单/三比值,秦岭地区: 2.36, 峨眉山区: 2.4, 横断山脉: 2.9, 东喜马拉雅: 3.37。

2.4 不同海拔梯度的单/三比值

我国拥有广泛的海拔范围。每500 m为一段,分别统计两种孢子类型的物种数和比值(表3)。结果显示:单裂缝和三裂缝类型的蕨类物种数均随着海拔的升高迅速增加,然后缓慢下降。物种数最多的海拔段为1,001–1,500 m范围内,总数近800种。单/三比值随着海拔的升高总体上呈现上升趋势,其中除了4,500 m以上蕨类物种数目较少(仅有16种)之外,单/三比值最小的为0–500 m海拔段($R = 2.92$),最大的为3,501–4,000 m ($R = 5.09$)。去掉误差点(>4,500 m)后,构建的单/三比值线性回归方程为 $y = 0.28x + 2.76$ ($r^2 = 0.88$, $P < 0.001$) (图2)。表现为单/三比值与海拔呈现显著正相关。

从我国地势三级阶梯来看,第一阶梯(平均海拔小于500 m)单/三比值为2.74,第二阶梯(平均海

表1 中国各省(或地区)具有单裂缝和三裂缝孢子的蕨类植物数目及其比例

Table 1 The number and ratio of monolete and trilete ferns in each province/region of China

省(地区) Province/region	单裂缝孢子物 种数 No. of monolete ferns (N1)	三裂缝孢子 物种数 No. of trilete ferns (N2)	单/三比值 Ratio of monolete and trilete ferns (R=N1/N2)
澳门 Macao	35	34	1.03
天津 Tianjin	15	11	1.36
海南 Hainan	257	166	1.55
香港 Hong Kong	125	76	1.64
广东 Guangdong	337	177	1.90
台湾 Taiwan	456	228	2.00
北京 Beijing	43	20	2.15
广西 Guangxi	490	217	2.26
上海 Shanghai	38	16	2.38
江西 Jiangxi	290	116	2.50
河北 Hebei	68	27	2.52
陕西 Shaanxi	151	57	2.65
福建 Fujian	272	98	2.78
贵州 Guizhou	574	198	2.90
山西 Shanxi	64	22	2.91
河南 Henan	152	52	2.92
甘肃 Gansu	171	58	2.95
重庆 Chongqing	401	136	2.95
浙江 Zhejiang	319	107	2.98
湖北 Hubei	255	85	3.00
四川 Sichuan	611	201	3.04
辽宁 Liaoning	68	22	3.10
湖南 Hunan	452	145	3.12
云南 Yunnan	934	296	3.16
青海 Qinghai	32	10	3.20
宁夏 Ningxia	20	6	3.33
西藏 Xizang	414	123	3.37
山东 Shandong	68	18	3.78
江苏 Jiangsu	102	27	3.78
黑龙江 Heilongjiang	54	13	4.15
吉林 Jilin	68	16	4.25
安徽 Anhui	137	31	4.42
内蒙古 Inner Mongolia	47	10	4.70
新疆 Xinjiang	43	8	5.38

拔1,000–2,000 m)单/三比值为3.28, 第三阶梯(平均海拔大于4,000 m)单/三比值为3.23。

2.5 各温度带和等降水量带的单/三比值

我国不同的温度带中单/三比值依次为热带1.55, 亚热带2.47, 暖温带2.61, 中温带3.91, 高寒区3.28。按照降水量区分单/三比值, 分别为0–400

表2 不同纬度带具单、三裂缝孢子的蕨类物种数及其比值
Table 2 Number of monolete and trilete ferns and the monolete/trilete values along a latitude gradient

北纬 Latitude (N)	单裂缝孢子 蕨类物种数 Monolete ferns	三裂缝孢子 蕨类物种数 Trilete ferns	单/三比值 Monolete/trilete
0°–20°	257	166	1.55
20°–25°	1,008	415	2.43
25°–30°	991	308	3.22
30°–35°	515	147	3.50
35°–40°	246	75	3.28
40°–45°	102	30	3.40
45°–55°	65	17	3.82

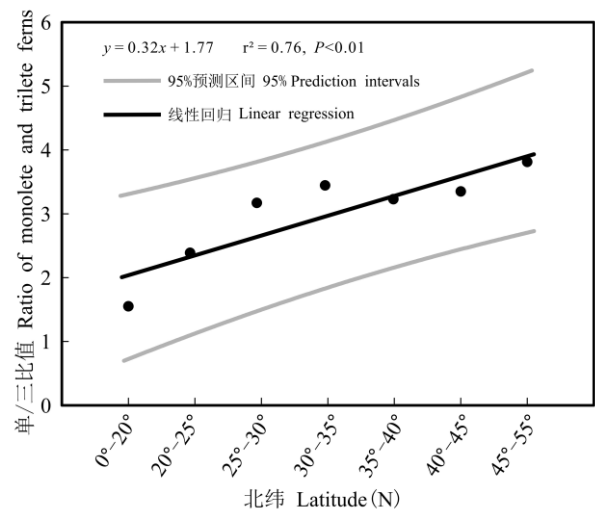


图1 单/三比值在不同纬度带上的线性回归
Fig. 1 Linear regression of monolete/trilete values along a latitude gradient

表3 不同海拔梯度具单、三裂缝孢子的蕨类物种数及其比值

Table 3 Number of monolete and trilete ferns and the monolete/trilete values along an elevation gradient

海拔 Elevation (m)	单裂缝孢子 蕨类物种数 Monolete ferns	三裂缝孢子 蕨类物种数 Trilete ferns	单/三比值 Monolete /trilete
0–500	315	108	2.92
501–1,000	574	189	3.04
1001–1,500	608	177	3.46
1501–2,000	610	138	4.42
2001–2,500	450	104	4.33
2501–3,000	342	75	4.56
3001–3,500	192	41	4.68
3501–4,000	117	23	5.09
4001–4,500	44	9	4.89
>4,500	11	5	2.20

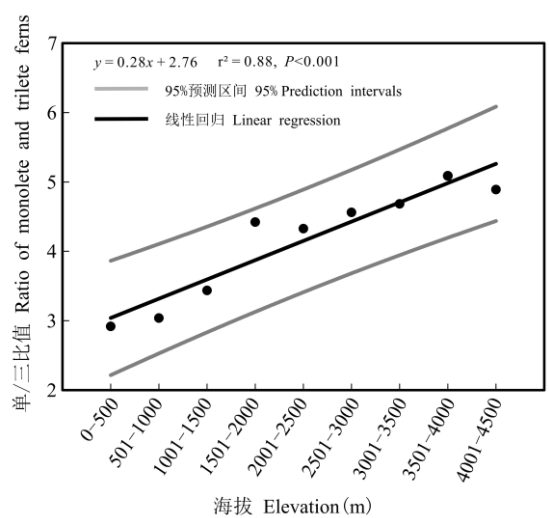


图2 单/三比值在不同海拔梯度上的线性回归
Fig. 2 Linear regression of mono/le/te values along an elevation gradient

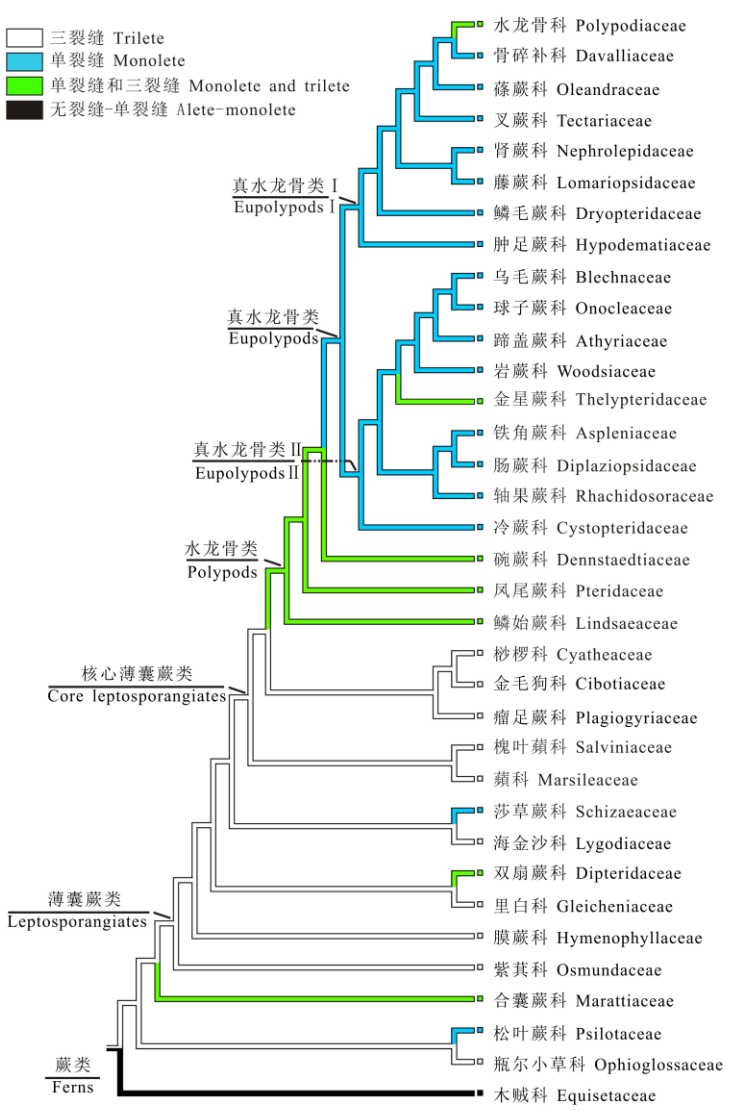


图3 蕨类植物孢子裂缝类型的进化关系
(系统发育关系框架自Smith et al, 2006; 张宪春和孙久琼, 2015)
Fig. 3 Evolution of fern spore aperture styles (Phylogeny follows Smith et al, 2006; Zhang & Sun, 2015)

mm: 3.92, 400–800 mm: 3.07, 800–1,600 mm: 2.63。
单/三比值与温度和降水均呈现负相关。

2.6 孢子裂缝类型的进化关系

蕨类植物的基部类群为木贼科，其孢子是无裂缝或无裂缝向单裂缝的过渡状态。瓶尔小草科为三裂缝孢子，松叶蕨科为单裂缝孢子，合囊蕨科既有三裂缝又有单裂缝孢子。薄囊蕨类中除水龙骨科以外的科中仅莎草蕨科孢子为单裂缝，双扇蕨科有两种孢子裂缝类型，其余均为三裂缝孢子。

水龙骨科中除真水龙骨科之外的3个科即碗蕨科、凤尾蕨科和鳞始蕨科既存在具单裂缝孢子的物种也存在具三裂缝孢子的物种。真水龙骨科中，水龙骨科和金星蕨科中具有两种孢子裂缝类型，其余的科都是单裂缝孢子(图3)。

3 讨论

基于以上结果可以看出, 在中国随着海拔和纬度的升高, 单/三比值呈上升趋势, 这与北半球其他地区的格局一致(Ito, 1972, 1978; Pausas & Sez, 2000)。同一纬度上, 中国的单/三比值高于世界大部分地区(Ito, 1978)。在不同气候带之间, 随着温度下降, 具单裂缝孢子的物种比例增加; 不同降水量下, 随着降水量的减少, 具单裂缝孢子的物种比例增加。统计数据得出的单/三比值反映了单裂缝或三裂缝孢子的蕨类植物分布格局的整体趋势, 并不是严格的数量变化关系。蕨类植物乃至整个植物界的物种分布受到光照、温度、水分、土壤类型等多方面因素的影响。即使是同一海拔或同一纬度, 其生态环境也会有所差别, 物种丰富度并不与单一环境因子呈线性关系(王志恒等, 2004)。海拔高度、纬度区间、温度带以及等降水量线的划分可以近似地反映地区间温度、水分等的差异。本研究的结果说明具单裂缝类型孢子的蕨类植物分布范围更广, 适应低温干旱的能力更强, 更适宜生活在高海拔的寒冷地区及干旱地区, 而三裂缝孢子的蕨类更适宜生存在低海拔的温暖地区和湿润地区。

孢子裂缝是孢子母细胞减数分裂形成四分体时形成的近极痕, 近极痕与配子体的形成有关。在孢子萌发时, 首先从近极痕处开裂, 长出假根, 其中三裂缝类型的孢子壁明显裂成3瓣, 假根从裂缝处伸出, 孢子壁退到细胞基部(王晓楠等, 2006; 黄笛等, 2009; 邓晰朝, 2016)。单裂缝孢子的孢子壁可能在萌发初期起到保护作用。Pausas和 Sez (2000)指出孢子裂缝类型单/三比值随着海拔与纬度的升高而增大与多倍化的比例升高相关, 并且与单裂缝类型的孢子具有较强的迁移能力有关。

秦仁昌系统(秦仁昌, 1978a, b)中的鳞始蕨科、剑蕨科、凤尾蕨科、蕨科、金星蕨科和书带蕨科等6个科具有两种孢子裂缝类型。在最新的蕨类系统中(Smith et al, 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013; 张宪春和孙久琼, 2015), 除了鳞始蕨科和金星蕨科具有两种裂缝类型的孢子之外, 由于广义合囊蕨科包含了秦仁昌系统中的天星蕨科, 广义双扇蕨科包含了秦仁昌系统中的燕尾蕨科, 广义碗蕨科增加了秦仁昌系统的姬蕨科、凤尾蕨科中的栗蕨属(*Histiopteris*)和蕨科中的曲轴蕨属(*Paesia*), 广

义水龙骨科中包含了秦仁昌系统中的剑蕨科和禾叶蕨科, 使得上述4个新归并后的科也具有两种裂缝类型的孢子。广义凤尾蕨科中包含了秦仁昌系统中的书带蕨科而增加了单裂缝孢子的比例。以上这些科均为蕨类植物中较为复杂的类群, 其界定与内部各个类群的相互关系也一直受到学者的关注, 仍需深入研究(Smith et al, 2006; 张宪春等, 2013; Liu, 2016)。在孢子裂缝类型的进化重建图上可以看出, 三裂缝为原始性状, 单裂缝为进化性状, 这与古孢粉学的证据是相似的(Traverse, 2007)。但两种裂缝类型的孢子均不是单次起源, 推测蕨类植物在进化过程中存在平行演化。另外, 由于三裂缝类型孢子的植物更适宜生活在低海拔和低纬度地区, 由此也可以推断蕨类植物可能为低纬度起源, 并向高纬度和高海拔地区扩散。

参考文献

- Chang YL, Xi YZ, Zhang JT, Gao GZ, Du NQ, Sun XJ, Kong ZC, Xu R, Ching RC, Wang FH, Shing KH, Yang HQ, Liu BL, Xu TY, Song SR (1976) Spore Morphology of Chinese Pteridophytes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张玉龙, 席以珍, 张金谈, 高桂珍, 杜乃秋, 孙湘君, 孔昭宸, 徐仁, 秦仁昌, 王伏雄, 邢公侠, 杨慧秋, 刘炳伦, 徐廷玉, 宋书如 (1976) 中国蕨类植物孢子形态. 科学出版社, 北京.]
- Chang YL (1963) Studies in the spores morphology of *Loxogramme* Presl. Acta Botanica Sinica, 11, 26–37. (in Chinese with English abstract) [张玉龙 (1963) 剑蕨属 (*Loxogramme*) 孢子形态的研究. 植物学报, 11, 26–37.]
- Ching RC (1978a) The Chinese fern families and genera: systematic arrangement and historical origin. Acta Phytotaxonomica Sinica, 16(3), 1–19. (in Chinese) [秦仁昌 (1978a) 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源. 植物分类学报, 16(3), 1–19.]
- Ching RC (1978b) The Chinese fern families and genera: systematic arrangement and historical origin (cont.). Acta Phytotaxonomica Sinica, 16(4), 16–37. (in Chinese) [秦仁昌 (1978b) 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源 (续). 植物分类学报, 16(4), 16–37.]
- Christenhusz MJM, Zhang XC, Schneider H (2011) A linear sequence of extant families and genera of lycophytes and ferns. Phytotaxa, 19, 7–54.
- Delecti Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae (1959–2004) Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 2–6. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国植物志编辑委员会(1959–2004) 中国植物志, 2–6卷. 科学出版社, 北京.]
- Deng XC (2016) Gametophyte development in *Onychium*

- japonicum* and its systematic significance. *Guihaia*, 36, 96–100. (in Chinese with English abstract) [邓晰朝 (2016) 野雄尾金粉蕨配子体发育及其系统学意义. *广西植物*, 36, 96–100.]
- Huang D, Feng YL, Dong L (2009) Studies on gametophyte development and spore propagation of *Aleuritopteris argentea*. *Acta Horticulturae Sinica*, 36, 1345–1352. (in Chinese with English abstract) [黄笛, 冯玉兰, 董丽 (2009) 银粉背蕨的配子体发育及孢子繁殖技术的研究. *园艺学报*, 36, 1345–1352.]
- Ito H (1972) Distribution of monolete and trilete ferns in eastern Asia and northern Oceania. *Journal of Japanese Botany*, 47, 321–325.
- Ito H (1978) Distribution of two spore patterns in the fern floras of the world (a preliminary survey). *Journal of Japanese Botany*, 53, 164–168.
- Liu HM (2016) Embracing the pteridophyte classification of Ren-Chang Ching using a generic phylogeny of Chinese ferns and lycophytes. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 307–335.
- Pausas JG, Sæz L (2000) Pteridophyte richness in the NE Iberian Peninsula: biogeographic patterns. *Plant Ecology*, 148, 195–205.
- Read CF (1950) Morphology of fern spores and its relation to taxonomy. *American Journal of Botany*, 37, 673–674.
- Smith AR, Pryer KM, Schuettpelz E, Korall P, Schneider H, Wolf PG (2006) A classification for extant ferns. *Taxon*, 55, 705–731.
- Traverse A (2007) Spores/pollen morphology. In: *Paleopalynology* (ed. Traverse A), pp. 87–154. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Wang QX, Dai XL (2010) Spores of Polypodiales (Filicales) from China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [王全喜, 戴锡玲 (2010) 中国水龙骨科 (真蕨目) 孢子形态的研究. 科学出版社, 北京.]
- Wang XN, Liu BD, Shi L (2006) Studies on the development of gametophyte in *Matteuccia orientalis*. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 24, 310–315. (in Chinese with English abstract) [王晓楠, 刘保东, 石雷 (2006) 东方荚果蕨配子体发育的研究. *武汉植物学研究*, 24, 310–315.]
- Wang ZH, Chen AP, Piao SL, Fang JY (2004) Pattern of species richness along an altitudinal gradient on Gaoligong Mountains, Southwest China. *Biodiversity Science*, 12, 82–88. (in Chinese with English abstract) [王志恒, 陈安平, 朴世龙, 方精云 (2004) 高黎贡山种子植物物种丰富度沿海拔梯度的变化. *生物多样性*, 12, 82–88.]
- Warren H, Wagner JR (1974) Structure of spores in relation to fern phylogeny. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 61, 332–353.
- Yan YH, Zhang XC, Ma KP (2013) Pteridophytes in China: Diversity and Distribution. Science Press, Beijing. (in Chinese) [严岳鸿, 张宪春, 马克平 (2013) 中国蕨类植物多样性与地理分布. 科学出版社, 北京.]
- Zhang XC (2012) Lycophytes and Ferns of China. Peking University Press, Beijing. (in Chinese) [张宪春 (2012) 中国石松类和蕨类植物. 北京大学出版社, 北京.]
- Zhang XC, Sun JQ (2015) A Glossary of Terms and Names of Lycopods and Ferns. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [张宪春, 孙久琼 (2015) 石松类和蕨类名词及名称. 中国林业出版社, 北京.]
- Zhang XC, Wei R, Liu HM, He LJ, Wang L, Zhang GM (2013) Phylogeny and classification of the extant lycophytes and ferns from China. *Chinese Bulletin of Botany*, 48, 119–137. (in Chinese with English abstract) [张宪春, 卫然, 刘红梅, 何丽娟, 王丽, 张钢民 (2013) 中国现代石松类和蕨类的系统发育与分类系统. *植物学报*, 48, 119–137.]

(责任编辑: 严岳鸿 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 中国蕨类植物孢子裂缝类型汇总

Appendix 1 Spore apertures styles of ferns in China

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2016219-1.pdf>

附录 1 中国蕨类植物孢子裂缝类型汇总

Appendix 1 Spore apertures styles of ferns in China

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al., 2011; 张宪春等, 2013)
问荆 <i>Equisetum arvense</i> L.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
披散木贼 <i>Equisetum diffusum</i> D. Don	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
溪木贼 <i>Equisetum fluviatile</i> L.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
木贼 <i>Equisetum hyemale</i> L.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
无瘤木贼 <i>Equisetum hyemale</i> ssp. <i>affine</i> (Engel.) Calder & R. L. Taylor	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
犬问荆 <i>Equisetum palustre</i> L.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
草问荆 <i>Equisetum pratense</i> Ehrhart	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
笔管草 <i>Equisetum ramosissimum</i> ssp. <i>Debile</i> (Roxb. ex Vauch.) Hauke	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
蔺木贼 <i>Equisetum scirpoides</i> Michoux	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
林木贼 <i>Equisetum sylvaticum</i> L.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
斑纹木贼 <i>Equisetum variegatum</i> Schleich. ex Weber & Mohr.	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
阿拉斯加木贼 <i>Equisetum variegatum</i> ssp. <i>Alaskanum</i> (A. A. Eaton) Hulten	无裂缝-单裂缝 Alete--monolete	木贼科 Equisetaceae	木贼科 Equisetaceae
带状瓶尔小草 <i>Ophioderma pendulum</i> (L.) C. Presl	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
高山瓶尔小草 <i>Ophioglossum austro-asiaticum</i> M. Nishida	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
小叶瓶尔小草 <i>Ophioglossum nudicaule</i> L. f.	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
矩圆叶瓶尔小草 <i>Ophioglossum oblongum</i> H. G. Zhou & Hua	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Li			
钝头瓶尔小草 <i>Ophioglossum petiolatum</i> Hook.	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
心脏叶瓶尔小草 <i>Ophioglossum reticulatum</i> L.	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
狭叶瓶尔小草 <i>Ophioglossum thermale</i> Kom.	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
瓶尔小草 <i>Ophioglossum vulgatum</i> L.	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
永仁瓶尔小草 <i>Ophioglossum yongrenense</i> Ching ex Z. R. He & W. M. Chu.	三裂缝 Trilete	瓶尔小草科 Ophioglossaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
七指蕨 <i>Helminthostachys zeylanica</i> (L.) Hook.	三裂缝 Trilete	七指蕨科 Helminthostachyaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
北方阴地蕨 <i>Botrychium boreale</i> Milde	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
薄叶阴地蕨 <i>Botrychium daucifolium</i> Wall. ex Hook. & Grev.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
台湾阴地蕨 <i>Botrychium formosanum</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
华东阴地蕨 <i>Botrychium japonicum</i> (Prantl) Underw.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
长白山阴地蕨 <i>Botrychium lanceolatum</i> (J. Gmelin) Angstrom	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
绒毛阴地蕨 <i>Botrychium lanuginosum</i> Wall. ex Hook. & Grev.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
扇羽阴地蕨 <i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
日本阴地蕨 <i>Botrychium nipponicum</i> Makino	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
粗壮阴地蕨 <i>Botrychium robustum</i> (Rupr. ex Milde) Underw.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
劲直阴地蕨 <i>Botrychium strictum</i> Underw.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
阴地蕨 <i>Botrychium ternatum</i> (Thunb.) Sw.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
蕨其 <i>Botrychium virginianum</i> (L.) Sw.	三裂缝 Trilete	阴地蕨科 Botrychiaceae	瓶尔小草科 Ophioglossaceae
松叶蕨 <i>Psilotum nudum</i> (L.) Beauv.	单裂缝 Monolete	松叶蕨科 Psilotaceae	竹叶蕨科 Psilotaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
天星蕨 <i>Christensenia assamica</i> (Griff.) Ching	单裂缝 Monolete	天星蕨科 Christenseniaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
合囊蕨 <i>Marattia pellucida</i> C. Presl	单裂缝 Monolete	合囊蕨科 Marattiaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
尖齿观音座莲 <i>Angiopteris acutidentata</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
披针观音座莲 <i>Angiopteris caudatiformis</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
长尾观音座莲 <i>Angiopteris caudipinna</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
琼越观音座蕨 <i>Angiopteris cochinchinensis</i> de Vriese	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
密脉莲座蕨 <i>Angiopteris confertinervia</i> Ching ex C. Chr. & Tardieu	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
大脚观音座莲 <i>Angiopteris crassipes</i> Wall. ex de Vriese	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
滇越莲座蕨 <i>Angiopteris dianyuicola</i> Z. R. He & W. M. Chu	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
食用观音座莲 <i>Angiopteris esculenta</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
纤毛观音座莲 <i>Angiopteris fibrillosa</i> Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
福建观音座莲 <i>Angiopteris fokiensis</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
美丽观音座莲 <i>Angiopteris formosa</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
海南观音座莲 <i>Angiopteris hainanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
楔基莲座蕨 <i>Angiopteris helferiana</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
透明脉观音座莲 <i>Angiopteris henryi</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
河口观音座莲 <i>Angiopteris hokouensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
侯氏观音座莲 <i>Angiopteris howii</i> Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
广西观音座莲 <i>Angiopteris kwangsiensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
片裂观音座莲 <i>Angiopteris lobulata</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
观音座莲 <i>Angiopteris lyodiifolia</i> Rosenst.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
墨脱观音座莲 <i>Angiopteris medogensis</i> Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
边生观音座莲 <i>Angiopteris neglecta</i> Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
倒披针观音座莲 <i>Angiopteris ob lanceolata</i> Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
定心散观音座莲 <i>Angiopteris officinalis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
屋氏观音座莲 <i>Angiopteris oldhamii</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
兰屿观音座莲 <i>Angiopteris palmiformis</i> (Cav.) C. Chr.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
疏脉莲座蕨 <i>Angiopteris paucinervis</i> W. M. Chu & Z. R. He ex Z. R. He	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
短果观音座莲 <i>Angiopteris rahaoensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
疏叶观音座莲 <i>Angiopteris remota</i> Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
强壮观音座莲 <i>Angiopteris robusta</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
边位观音座莲 <i>Angiopteris sakurarii</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
法斗莲座蕨 <i>Angiopteris sparsisora</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
楔形观音座莲 <i>Angiopteris subcuneata</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
亚全缘观音座莲 <i>Angiopteris subintegra</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
台湾观音座莲 <i>Angiopteris taiwanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
长假脉观音座莲 <i>Angiopteris venulosa</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
西藏观音座莲 <i>Angiopteris wallichiana</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
王氏莲座蕨 <i>Angiopteris wangii</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
云南观音座莲 <i>Angiopteris yunnanensis</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
二回原始观音座莲 <i>Archangiopteris bipinnata</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
亨利原始观音座莲 <i>Archangiopteris henryi</i> Christ & Gies.	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
河口原始观音座莲 <i>Archangiopteris hokouensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
伊藤氏原始观音座莲 <i>Archangiopteris itoi</i> W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae
尖叶原始观音座莲 <i>Archangiopteris tonkinensis</i> (Hayata) Ching	三裂缝 Trilete	观音座莲科 Angiopteridaceae	合囊蕨科 Marattiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
狭叶紫萁 <i>Osmunda angustifolia</i> Ching	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
粗齿紫萁 <i>Osmunda banksiifolia</i> (C. Presl) Kuhn	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
桂皮紫萁 <i>Osmunda cinnamomea</i> L.	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
绒紫萁 <i>Osmunda claytoniana</i> L.	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
紫萁 <i>Osmunda japonica</i> Thunb.	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
宽叶紫萁 <i>Osmunda javanica</i> Blume	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
华南紫萁 <i>Osmunda vachellii</i> Hook.	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
粤紫萁 <i>Osmunda</i> × <i>mildei</i> C. Chr.	三裂缝 Trilete	紫萁科 Osmundaceae	紫萁科 Osmundaceae
长片蕨 <i>Abrodictyum cumingii</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
毛杆蕨 <i>Callistopteris apiifolia</i> Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
爪哇厚叶蕨 <i>Cephalomanes javanicum</i> (Blume) Bosch	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
南洋假脉蕨 <i>Crepidomanes bipunctatum</i> (Poir.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
海南假脉蕨 <i>Crepidomanes hainanense</i> Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
边内假脉蕨 <i>Crepidomanes intramarginale</i> (Hook. & Grev.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
阔边假脉蕨 <i>Crepidomanes latemarginale</i> (A. A. Eaton) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
荔波假脉蕨 <i>Crepidomanes liboense</i> P. S. Wang	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
峨眉假脉蕨 <i>Crepidomanes omeiense</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
边上假脉蕨 <i>Crepidomanes pinnatifidum</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
皱叶假脉蕨 <i>Crepidomanes plicatum</i> (Bosch) Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
长柄假脉蕨 <i>Crepidomanes racemosum</i> (Bosch) Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
天童假脉蕨 <i>Crepidomanes tiendongense</i> Ching & C. F. Zhang	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
扁枝假脉蕨 <i>Crepidomanes zayuense</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
厚边蕨 <i>Crepidopteris humilis</i> (Forst.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
毛边蕨 <i>Didymoglossum wallii</i> (Thwait.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
广东团扇蕨 <i>Gonocormus matthewii</i> (Christ) Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
团扇蕨 <i>Gonocormus minutus</i> (Blume) Bosch	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
节节团扇蕨 <i>Gonocormus prolifer</i> (Blume) Prantl	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
华南膜蕨 <i>Hymenophyllum austrosinicum</i> Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
华东膜蕨 <i>Hymenophyllum barbatum</i> (Bosch) Baker	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
台湾膜蕨 <i>Hymenophyllum devolii</i> Lai	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
顶果膜蕨 <i>Hymenophyllum khasianum</i> Hook. & Baker	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
微齿膜蕨 <i>Hymenophyllum minutidenticulatum</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
峨眉膜蕨 <i>Hymenophyllum omeiense</i> Christ	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
小叶膜蕨 <i>Hymenophyllum oxyodon</i> Baker	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
宽片膜蕨 <i>Hymenophyllum simonsianum</i> Hook.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
尾叶膜蕨 <i>Hymenophyllum urofrons</i> Ching & C. F. Zhang	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
落蕨 <i>Mecodium badium</i> (Hook. & Grev.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
皱叶落蕨 <i>Mecodium corrugatum</i> (Christ) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
毛落蕨 <i>Mecodium exsertum</i> (Wall. ex Hook.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
爪哇落蕨 <i>Mecodium javanicum</i> (Spreng.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
金佛山落蕨 <i>Mecodium jinfoshanense</i> Ching & Z. Y. Liu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
鳞落蕨 <i>Mecodium levingei</i> (C. B. Clarke) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
线叶蓀 <i>Mecodium lineatum</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
罗浮蓀 <i>Mecodium lofoushanense</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
庐山蓀 <i>Mecodium lushanense</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
长毛蓀 <i>Mecodium oligosorum</i> (Makino) H. Ito	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
羽叶蓀 <i>Mecodium paramnioides</i> H. G. Zhou & W. M. Chu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
多果蓀 <i>Mecodium polyanthos</i> (Sw.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
吊罗蓀 <i>Mecodium productum</i> (Kunze) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
琉球蓀 <i>Mecodium riukiense</i> (Christ) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
撕苞蓀 <i>Mecodium stenochladum</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
四川蓀 <i>Mecodium szechuanense</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
爪哇厚壁蕨 <i>Meringium blandum</i> (Racib) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
厚壁蕨 <i>Meringium denticulatum</i> (Sw.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
南洋厚壁蕨 <i>Meringium holochilum</i> (Bosch) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
叉脉单叶假脉蕨 <i>Microgonium bimarginatum</i> Bosch.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
短柄单叶假脉蕨 <i>Microgonium motleyi</i> Bosch.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
单叶假脉蕨 <i>Microgonium sublimbatum</i> (K. Muller) Bosch	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
盾形单叶假脉蕨 <i>Microgonium tahitense</i> (Nadealld) Tindale	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
指状细口团扇蕨 <i>Microtrichomanes digitatum</i> (Sw.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
细口团扇蕨 <i>Microtrichomanes nitidulum</i> (Bosch) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
大球杆毛蕨 <i>Nesopteris grandis</i> (Copel.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
球杆毛蕨 <i>Nesopteris thysanostoma</i> (Makino) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
毛叶蕨 <i>Pleuromanthes pallidum</i> (Blume) C. Presl	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
直长筒蕨 <i>Selenodesmium cupressoides</i> (Desv.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
弯长筒蕨 <i>Selenodesmium recurvum</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
广西长筒蕨 <i>Selenodesmium siamense</i> (Christ) Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
瓶蕨 <i>Vandenboschia auriculata</i> (Blume) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
管苞瓶蕨 <i>Vandenboschia birmanica</i> (Bedd.) Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
墨兰瓶蕨 <i>Vandenboschia cystoseiroides</i> (Christ ex Tardien & C. Chr.) Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
城口瓶蕨 <i>Vandenboschia fargesii</i> (Christ) Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
罗浮山瓶蕨 <i>Vandenboschia lofoushanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
大叶瓶蕨 <i>Vandenboschia maxima</i> (Blume) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
南海瓶蕨 <i>Vandenboschia radicans</i> (Sw.) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
宽叶瓶蕨 <i>Vandenboschia schmidtiana</i> (Zenker ex Taschner) Copel.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
琉球瓶蕨 <i>Vandenboschia subclathrata</i> K. Iwats.	三裂缝 Trilete	膜蕨科 Hymenophyllaceae	膜蕨科 Hymenophyllaceae
大芒萁 <i>Dicranopteris ampla</i> Ching & Chiu in Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
乔芒萁 <i>Dicranopteris gigantea</i> Ching	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
铁芒萁 <i>Dicranopteris linearis</i> (Burm. f.) Underw.	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (Houtt.) Nakaike	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
大羽芒萁 <i>Dicranopteris splendida</i> (Hand.-Mazz.) Ching	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
台湾芒萁 <i>Dicranopteris taiwanensis</i> Ching & P. S. Chiu	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
阔片里白 <i>Diplopterygium blotianum</i> (C. Chr.) Nakai	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
粤里白 <i>Diplopterygium cantonense</i> (Ching) Ching	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
中华里白 <i>Diplopterygium chinense</i> (Rosenst.) De Vol	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
正里白 <i>Diplopterygium criticum</i> (Ching & P. S. Chiu) Ching ex X. C. Zhang	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
大里白 <i>Diplopterygium giganteum</i> (Wall. ex Hook.) Nakai	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
里白 <i>Diplopterygium glaucum</i> (Thunb. ex Houtt.) Nakai	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
参差里白 <i>Diplopterygium irregulare</i> W. M. Chu & Z. R. He	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
光里白 <i>Diplopterygium laevissimum</i> (Christ) Nakai	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
绿里白 <i>Diplopterygium maximum</i> (Ching) Ching & H. S. Kung	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
红毛里白 <i>Diplopterygium rufopilosum</i> (Ching & P. S. Chiu) Ching ex X. C. Zhang	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
海南里白 <i>Diplopterygium simulans</i> (Ching) Ching ex X. C. Zhang	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
假芒萁 <i>Sticherus laevigatus</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	里白科 Gleichniaceae	里白科 Gleicheniaceae
燕尾蕨 <i>Cheiropleuria bicuspidis</i> (Blume) C. Presl	三裂缝 Trilete	燕尾蕨科 Cheiropleuriaceae	双扇蕨科 Dipteridaceae
整叶燕尾蕨 <i>Cheiropleuria integrifolia</i> (D. C. Eaton ex Hook.) M. Kato, Y. Yatabe, Sahashi & N. Murak.	三裂缝 Trilete	燕尾蕨科 Cheiropleuriaceae	双扇蕨科 Dipteridaceae
中华双扇蕨 <i>Dipteris chinensis</i> Christ	单裂缝 Monolete	双扇蕨科 Dipteridaceae	双扇蕨科 Dipteridaceae
双扇蕨 <i>Dipteris conjugata</i> (Kaulf.) Reinw.	单裂缝 Monolete	双扇蕨科 Dipteridaceae	双扇蕨科 Dipteridaceae
喜马拉雅双扇蕨 <i>Dipteris wallichii</i> (R. Brown) T. Moore	单裂缝 Monolete	双扇蕨科 Dipteridaceae	双扇蕨科 Dipteridaceae
海南海金沙 <i>Lygodium circinnatum</i> (Burm.) Sw.	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
曲轴海金沙 <i>Lygodium flexuosum</i> (L.) Sw.	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
掌叶海金沙 <i>Lygodium longifolium</i> (Willd.) Sw.	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
网脉海金沙 <i>Lygodium merrillii</i> Copel.	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
小叶海金沙 <i>Lygodium microphyllum</i> (Cav.) R.Br	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
羽裂海金沙 <i>Lygodium polystachyum</i> Wall. ex T. Moore	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
柳叶海金沙 <i>Lygodium salicifolium</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
云南海金沙 <i>Lygodium yunnanense</i> Ching	三裂缝 Trilete	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙科 Lygodiaceae
分枝莎草蕨 <i>Schizaea dichotoma</i> (L.) Sm.	单裂缝 Monolete	莎草蕨科 Schizaeaceae	莎草蕨科 Schizaeaceae
莎草蕨 <i>Schizaea digitata</i> (L.) Sw.	单裂缝 Monolete	莎草蕨科 Schizaeaceae	莎草蕨科 Schizaeaceae
埃及蕨 <i>Marsilea aegyptiaca</i> Willd.	三裂缝 Trilete	蕨科 Marsileaceae	蕨科 Marsileaceae
南国田字草 <i>Marsilea crenata</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	蕨科 Marsileaceae	蕨科 Marsileaceae
蕨 <i>Marsilea quadrifolia</i> L.	三裂缝 Trilete	蕨科 Marsileaceae	蕨科 Marsileaceae
细叶满江红 <i>Azolla filiculoides</i> Lam.	三裂缝 Trilete	满江红科 Azollaceae	槐叶蕨科 Salviniaceae
满江红 <i>Azolla pinnata</i> ssp. <i>asiatica</i> R. M. K. Saunders & K. Fowler	三裂缝 Trilete	满江红科 Azollaceae	槐叶蕨科 Salviniaceae
勺叶槐叶蕨 <i>Salvinia cuculata</i> Roxb. ex Bory	三裂缝 Trilete	槐叶蕨科 Salviniaceae	槐叶蕨科 Salviniaceae
槐叶蕨 <i>Salvinia natans</i> (L.) All.	三裂缝 Trilete	槐叶蕨科 Salviniaceae	槐叶蕨科 Salviniaceae
瘤足蕨 <i>Plagiogyria adnata</i> (Blume) Bedd.	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
峨嵋瘤足蕨 <i>Plagiogyria assurgens</i> Christ	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
华中瘤足蕨 <i>Plagiogyria euphlebia</i> (Kunze) Mett.	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
镰羽瘤足蕨 <i>Plagiogyria falcata</i> Copel.	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
粉背瘤足蕨 <i>Plagiogyria glauca</i> (Blume) Mett.	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
华东瘤足蕨 <i>Plagiogyria japonica</i> Nakai	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
密羽瘤足蕨 <i>Plagiogyria pycnophylla</i> (Kunze) Mett.	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
耳形瘤足蕨 <i>Plagiogyria stenoptera</i> (Hance) Diels	三裂缝 Trilete	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae
金毛狗蕨 <i>Cibotium barometz</i> (L.) J.Sm.	三裂缝 Trilete	蚌壳蕨科 Dicksoniaceae	金毛狗科 cibotiaceae
台湾金狗毛蕨 <i>Cibotium taiwanense</i> C. M. Kuo	三裂缝 Trilete	蚌壳蕨科 Dicksoniaceae	金毛狗科 cibotiaceae
毛叶桫欏 <i>Alsophila andersonii</i> Scott ex Bedd.	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
滇南桫欏 <i>Alsophila austro-yunnanensis</i> S. G. Lu	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
中华桫欏 <i>Alsophila costularis</i> Baker	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
粗齿桫欏 <i>Alsophila denticulata</i> Baker	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
兰屿桫欏 <i>Alsophila fenicis</i> (Copel.) C. Chr.	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
大叶黑桫欏 <i>Alsophila gigantea</i> Wall. ex Hook.	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
西亚桫欏 <i>Alsophila khasyana</i> T. Moore ex Kuhn	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
阴生桫欏 <i>Alsophila latebrosa</i> Wall. ex Hook.	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
南洋桫欏 <i>Alsophila loheri</i> (Christ) R. M. Tryon	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
小黑桫欏 <i>Alsophila metteniana</i> Hance	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
黑桫欏 <i>Alsophila podophylla</i> Hook.	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
桫欏 <i>Alsophila spinulosa</i> (Wall. ex Hook.) Tryon	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
白桫欏 <i>Sphaeropteris brunoniana</i> (Hook.) R. M. Tryon	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
笔筒树 <i>Sphaeropteris lepifera</i> (J. Sm. ex Hook.) R. M. Tryon	三裂缝 Trilete	桫欏科 Cyatheaceae	桫欏科 Cyatheaceae
华南鳞始蕨 <i>Lindsaea austrosinica</i> Ching	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
钱氏鳞始蕨 <i>Lindsaea chienii</i> Ching	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
碎叶鳞始蕨 <i>Lindsaea chingii</i> C. Chr.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
网脉鳞始蕨 <i>Lindsaea cultrata</i> (Willd.) Sw.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
线片鳞始蕨 <i>Lindsaea eberhardtii</i> (Christ) K. U. Kramer	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
剑叶鳞始蕨 <i>Lindsaea ensifolia</i> Sw.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
异叶鳞始蕨 <i>Lindsaea heterophylla</i> Dryand.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
爪哇鳞始蕨 <i>Lindsaea javanensis</i> Blume	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
细叶鳞始蕨 <i>Lindsaea kawabatae</i> Sa. Kurata	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
两广鳞始蕨 <i>Lindsaea liankwangensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
海南深裂鳞始蕨 <i>Lindsaea lobata</i> var. <i>hainaniana</i> K. U. Kramer	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
长柄鳞始蕨 <i>Lindsaea longipetiolata</i> Ching	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
亮叶鳞始蕨 <i>Lindsaea lucida</i> Blume	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
蔓生鳞始蕨 <i>Lindsaea merrillii</i> Copel.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
攀缘鳞始蕨 <i>Lindsaea merrillii</i> var. <i>yaeyamensis</i> (Tagawa) W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
鳞始蕨 <i>Lindsaea odorata</i> Roxb.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
日本鳞始蕨 <i>Lindsaea odorata</i> var. <i>japonica</i> (Baker) K. U. Kramer	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
团叶鳞始蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i> (Lam.) Mett.	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
阔片鳞始蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i> var. <i>recedens</i> (Ching) W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
方柄鳞始蕨 <i>Lindsaea securifolia</i> var. <i>kusukusensis</i> (Hayata) W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
阔片乌蕨 <i>Sphenomeris biflora</i> (Kaulf.) Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
乌蕨 <i>Sphenomeris chinensis</i> (L.) Maxon	单裂缝 Monolete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
细叶达边蕨 <i>Tapeinidium gracile</i> (Blume) Alderw.	单裂缝 Monolete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
达边蕨 <i>Tapeinidium pinnatum</i> (Cav.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
二羽达边蕨 <i>Tapeinidium pinnatum</i> var. <i>biserratum</i> (Blume) W. C. Shieh	单裂缝 Monolete	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨科 Lindsaeaceae
顶生碗蕨 <i>Dennstaedtia appendiculata</i> (Wall.) J. Sm.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
峨山碗蕨 <i>Dennstaedtia elwesii</i> (Bedd.) Bedd.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
台湾碗蕨 <i>Dennstaedtia formosae</i> Christ	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
细毛碗蕨 <i>Dennstaedtia hirsuta</i> (Sw.) Mett. ex Miq.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
薄叶碗蕨 <i>Dennstaedtia leptophylla</i> Hayata	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
乌柄碗蕨 <i>Dennstaedtia melanostipes</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
碗蕨 <i>Dennstaedtia scabra</i> (Wall. ex Hook.) T. Moore	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
光叶碗蕨 <i>Dennstaedtia scabra</i> var. <i>glabrescens</i> (Ching) C. Chr.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
刺柄碗蕨 <i>Dennstaedtia scandens</i> (Blume) T. Moore	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
溪洞碗蕨 <i>Dennstaedtia wilfordii</i> (T. Moore) Christ	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
浅杯鳞盖蕨 <i>Microlepia ampla</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
光叶鳞盖蕨 <i>Microlepia calvescens</i> (Wall. ex Hook.) C. Presl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
羽叶鳞盖蕨 <i>Microlepia calvescens</i> var. <i>intramarginalis</i> (Tagawa) W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
尾头鳞盖蕨 <i>Microlepia caudifolia</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
秦氏鳞盖蕨 <i>Microlepia chingii</i> B. S. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
赤水鳞盖蕨 <i>Microlepia chishuiensis</i> P. S. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
金果鳞盖蕨 <i>Microlepia chrysocarpa</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
革质鳞盖蕨 <i>Microlepia crassa</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
圆齿鳞盖蕨 <i>Microlepia crenata</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
隆脉鳞盖蕨 <i>Microlepia crenatoserrata</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
正鳞盖蕨 <i>Microlepia critica</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
长托鳞盖蕨 <i>Microlepia firma</i> Mett. ex Kuhn	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
线羽鳞盖蕨 <i>Microlepia formosana</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
阴脉鳞盖蕨 <i>Microlepia ganlanbaensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
乔大鳞盖蕨 <i>Microlepia gigantea</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
光盖鳞盖蕨 <i>Microlepia glabra</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
海南鳞盖蕨 <i>Microlepia hainanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i> Prantl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
草叶鳞盖蕨 <i>Microlepia herbacea</i> Ching & C. Chr.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
刚毛鳞盖蕨 <i>Microlepia hispida</i> C. Chr.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
虎克鳞盖蕨 <i>Microlepia hookeriana</i> (Wall. ex Hook.) C. Presl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
中型鳞盖蕨 <i>Microlepia intermedia</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
西南鳞盖蕨 <i>Microlepia khasiyana</i> (Hook.) C. Presl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
克氏鳞盖蕨 <i>Microlepia krameri</i> C. M. Kuo	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
毛阔叶鳞盖蕨 <i>Microlepia kurzii</i> (C. B. Clarke) Bedd.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
黎平鳞盖蕨 <i>Microlepia lipingensis</i> P. S. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
罗浮鳞盖蕨 <i>Microlepia lofoushanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
边缘鳞盖蕨 <i>Microlepia marginata</i> (Panz.) C. Chr.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
二回羽状变种 <i>Microlepia marginata</i> var. <i>bipinnata</i> Makino	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
毛叶鳞盖蕨 <i>Microlepia marginata</i> var. <i>villosa</i> (C. Presl) Y. C. Wu	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
岭南鳞盖蕨 <i>Microlepia matthewii</i> Christ	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
墨脱鳞盖蕨 <i>Microlepia medogensis</i> Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
膜质鳞盖蕨 <i>Microlepia membranacea</i> B. S. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
皖南鳞盖蕨 <i>Microlepia modesta</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
团羽鳞盖蕨 <i>Microlepia obtusiloba</i> Hayata	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
峨眉鳞盖蕨 <i>Microlepia omeiensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
淡秆鳞盖蕨 <i>Microlepia pallida</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
多毛鳞盖蕨 <i>Microlepia pilosissima</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
褐毛鳞盖蕨 <i>Microlepia pilosula</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
阔叶鳞盖蕨 <i>Microlepia platyphylla</i> (D. Don) J. Sm.	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
假粗毛鳞盖蕨 <i>Microlepia pseudostrigosa</i> Makino	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
斜方鳞盖蕨 <i>Microlepia rhomboidea</i> C. Presl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
深杯鳞盖蕨 <i>Microlepia scyphoformis</i> Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
热带鳞盖蕨 <i>Microlepia speluncae</i> (L.) T. Moore	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
广西鳞盖蕨 <i>Microlepia straminea</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
粗毛鳞盖蕨 <i>Microlepia strigosa</i> (Thunb.) C. Presl	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
滇西鳞盖蕨 <i>Microlepia subspeluncae</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
亚粗毛鳞盖蕨 <i>Microlepia substrigosa</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
尖山鳞盖蕨 <i>Microlepia subtrichosticha</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
四川鳞盖蕨 <i>Microlepia szechuanica</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
台湾鳞盖蕨 <i>Microlepia taiwaniana</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
膜叶鳞盖蕨 <i>Microlepia tenella</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
薄叶鳞盖蕨 <i>Microlepia tenera</i> Christ	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
针毛鳞盖蕨 <i>Microlepia trapeziformis</i> (Roxb.) Kuhn	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
毛果鳞盖蕨 <i>Microlepia trichocarpa</i> Hayata	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
亮毛鳞盖蕨 <i>Microlepia trichoclada</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
毛囊鳞盖蕨 <i>Microlepia trichosora</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
浓毛鳞盖蕨 <i>Microlepia tripinnata</i> Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
密毛鳞盖蕨 <i>Microlepia villosa</i> (D. Don) Ching	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
温塘鳞盖蕨 <i>Microlepia wentongensis</i> B. S. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
毛盖鳞盖蕨 <i>Microlepia × hirtiindusiata</i> P. S. Wang	三裂缝 Trilete	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
徕山稀子蕨 <i>Monachosorum elegans</i> Ching	三裂缝 Trilete	稀子蕨科 Monachosoraceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
尾叶稀子蕨 <i>Monachosorum flagellare</i> (Maxim.) Hayata	三裂缝 Trilete	稀子蕨科 Monachosoraceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
华中稀子蕨 <i>Monachosorum flagellare</i> var. <i>nipponicum</i> (Makino) Tagawa	三裂缝 Trilete	稀子蕨科 Monachosoraceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
大叶稀子蕨 <i>Monachosorum subdigitatum</i> (Blume) Kuhn	三裂缝 Trilete	稀子蕨科 Monachosoraceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
岩穴蕨 <i>Ptilopteris maximowiczii</i> (Baker) Hance	三裂缝 Trilete	稀子蕨科 Monachosoraceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
台湾曲轴蕨 <i>Paesia taiwanensis</i> W. C. Shieh	单裂缝 Monolete	蕨科 Pteridiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex A. Heller	三裂缝 Trilete	蕨科 Pteridiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
食蕨 <i>Pteridium esculentum</i> (Forst.) Cokayne	三裂缝 Trilete	蕨科 Pteridiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
镰羽蕨 <i>Pteridium falcatum</i> Ching	三裂缝 Trilete	蕨科 Pteridiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
毛轴蕨 <i>Pteridium revolutum</i> (Blume) Nakai	三裂缝 Trilete	蕨科 Pteridiaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
台湾姬蕨 <i>Hypolepis alte-gracillima</i> Hayata	单裂缝 Monolete	姬蕨科 Hypolepidaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
大姬蕨 <i>Hypolepis gigantea</i> Ching	单裂缝 Monolete	姬蕨科 Hypolepidaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
腺毛姬蕨 <i>Hypolepis glandulosopilosa</i> H. G. Zhou & Hua Li	单裂缝 Monolete	姬蕨科 Hypolepidaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
姬蕨 <i>Hypolepis punctata</i> (Thunb.) Mett. ex Kuhn	单裂缝 Monolete	姬蕨科 Hypolepidaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
粗壮姬蕨 <i>Hypolepis robusta</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	姬蕨科 Hypolepidaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
栗蕨 <i>Histiopteris incisa</i> (Thunb.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	凤尾蕨科 Pteridaceae	碗蕨科 Dennstaedtiaceae
卤蕨 <i>Acrostichum aureum</i> L.	三裂缝 Trilete	卤蕨科 Acrostichaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
尖叶卤蕨 <i>Acrostichum speciosum</i> Willd.	三裂缝 Trilete	卤蕨科 Acrostichaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
粗梗水蕨 <i>Ceratopteris pteridoides</i> (Hook.) Hieron.	三裂缝 Trilete	水蕨科 Parkeriaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
水蕨 <i>Ceratopteris thalictroides</i> (L.) Brongn.	三裂缝 Trilete	水蕨科 Parkeriaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
猪鬃凤尾蕨 <i>Pteris actiniopteroides</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
红秆凤尾蕨 <i>Pteris amoena</i> Blume	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
细叶凤尾蕨 <i>Pteris angustipinna</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
线裂凤尾蕨 <i>Pteris angustipinnula</i> Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
紫轴凤尾蕨 <i>Pteris aspericaulis</i> Wall. ex Agardh	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
高原凤尾蕨 <i>Pteris aspericaulis</i> var. <i>cuspidata</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
高山凤尾蕨 <i>Pteris aspericaulis</i> var. <i>subdivisa</i> (Clarke) Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
三色凤尾蕨 <i>Pteris aspericaulis</i> var. <i>tricolor</i> Moore	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
华南凤尾蕨 <i>Pteris austrosinica</i> (Ching) Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
白沙凤尾蕨 <i>Pteris baksensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长柄凤尾蕨 <i>Pteris bella</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
狭眼凤尾蕨 <i>Pteris biaurita</i> L.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
波密凤尾蕨 <i>Pteris bomiensis</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
条纹凤尾蕨 <i>Pteris cadieri</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
海南凤尾蕨 <i>Pteris cadieri</i> var. <i>hainanensis</i> (Ching) S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
密脉凤尾蕨 <i>Pteris confertinervia</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
厚叶凤尾蕨 <i>Pteris crassiuscula</i> Ching & Chu H. Wang	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i> var. <i>intermedia</i> (Christ) C. Chr.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
粗糙凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i> var. <i>laeta</i> (Wall. ex Ettingsh.) C. Chr. & Tardieu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
珠叶凤尾蕨 <i>Pteris cryptogrammoides</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
指叶凤尾蕨 <i>Pteris dactylina</i> Hook.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
成忠凤尾蕨 <i>Pteris dangiana</i> X. Y. Wang & P. S. Wang	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
多羽凤尾蕨 <i>Pteris decrescens</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
大明凤尾蕨 <i>Pteris decrescens</i> var. <i>parviloba</i> (Christ) C. Chr. & Tardieu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
岩凤尾蕨 <i>Pteris deltodon</i> Baker	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
刺齿半边旗 <i>Pteris dispar</i> Kunze	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
疏羽半边旗 <i>Pteris dissitifolia</i> Baker	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
剑叶凤尾蕨 <i>Pteris ensiformis</i> Burm. f.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
叉羽凤尾蕨 <i>Pteris ensiformis</i> var. <i>furcans</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
少羽凤尾蕨 <i>Pteris ensiformis</i> var. <i>merrillii</i> (C. Chr.) S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
白羽凤尾蕨 <i>Pteris ensiformis</i> var. <i>victoriae</i> Baker	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
阔叶凤尾蕨 <i>Pteris esquirolii</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
刺柄凤尾蕨 <i>Pteris esquirolii</i> var. <i>muricatula</i> (Ching) Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
溪边凤尾蕨 <i>Pteris excelsa</i> Gaud.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
变异凤尾蕨 <i>Pteris excelsa</i> var. <i>inaequalis</i> (Baker) S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
傅氏凤尾蕨 <i>Pteris fauriei</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
百越凤尾蕨 <i>Pteris fauriei</i> var. <i>chinensis</i> Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
疏裂凤尾蕨 <i>Pteris finotii</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
美丽凤尾蕨 <i>Pteris formosana</i> Baker	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
鸡爪凤尾蕨 <i>Pteris gallinopes</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
细弱凤尾蕨 <i>Pteris gracillima</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
林下凤尾蕨 <i>Pteris grevilleana</i> Wall. ex Agardh	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
白斑凤尾蕨 <i>Pteris grevilleana</i> var. <i>ornata</i> Alderw.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
广东凤尾蕨 <i>Pteris guangdongensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
贵州凤尾蕨 <i>Pteris guizhouensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
狭叶凤尾蕨 <i>Pteris henryi</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长尾凤尾蕨 <i>Pteris heteromorpha</i> Fée	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
胡氏凤尾蕨 <i>Pteris hui</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
全缘凤尾蕨 <i>Pteris insignis</i> Mett. ex Kuhn	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
城户凤尾蕨 <i>Pteris kidoi</i> Sa. Kurata	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
平羽凤尾蕨 <i>Pteris kiuschiuensis</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
华中凤尾蕨 <i>Pteris kiuschiuensis</i> var. <i>centrochinensis</i> Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
龙泉凤尾蕨 <i>Pteris laurisilvicola</i> Sa. Kurata	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
荔波凤尾蕨 <i>Pteris liboensis</i> P. S. Wang	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
线羽凤尾蕨 <i>Pteris linearis</i> Poir.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
三轴凤尾蕨 <i>Pteris longipes</i> D. Don	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长叶凤尾蕨 <i>Pteris longipinna</i> Hayata	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
翠绿凤尾蕨 <i>Pteris longipinnula</i> Wall. ex Agardh	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
两广凤尾蕨 <i>Pteris maclurei</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
岭南凤尾蕨 <i>Pteris maclurioides</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
墨脱凤尾蕨 <i>Pteris medogensis</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
琼南凤尾蕨 <i>Pteris morii</i> Masam.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
井栏凤尾蕨 <i>Pteris multifida</i> Poir.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
日本凤尾蕨 <i>Pteris nipponica</i> W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
江西凤尾蕨 <i>Pteris obtusiloba</i> Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
华西凤尾蕨 <i>Pteris occidentalisinica</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
斜羽凤尾蕨 <i>Pteris oshimensis</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
尾头凤尾蕨 <i>Pteris oshimensis</i> var. <i>paraemeiensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
稀羽凤尾蕨 <i>Pteris paucipinnula</i> X. Y. Wang & P. S. Wang	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
栗柄凤尾蕨 <i>Pteris plumbea</i> Christ	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
假指状凤尾蕨 <i>Pteris pseudodactylina</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
单叶凤尾蕨 <i>Pteris pseudopellucida</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
柔毛凤尾蕨 <i>Pteris puberula</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
方柄凤尾蕨 <i>Pteris quadristipitis</i> X. Y. Wang & P. S. Wang	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
五叶凤尾蕨 <i>Pteris quinquefoliata</i> (Copel.) Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
红毛凤尾蕨 <i>Pteris rufopilosa</i> Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
琉球凤尾蕨 <i>Pteris ryukyuensis</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
三都凤尾蕨 <i>Pteris sanduensis</i> X. Y. Wang & P. S. Wang	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
红柄凤尾蕨 <i>Pteris scabristipes</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i> L.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
有刺凤尾蕨 <i>Pteris setulosocostulata</i> Hayata	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
石棉凤尾蕨 <i>Pteris shimianensis</i> H. S. Kung	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
四川凤尾蕨 <i>Pteris sichuanensis</i> H. S. Kung	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
中华凤尾蕨 <i>Pteris sinensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
隆林凤尾蕨 <i>Pteris splendida</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
细羽凤尾蕨 <i>Pteris splendida</i> var. <i>longlinensis</i> Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
狭羽凤尾蕨 <i>Pteris stenophylla</i> Wall. ex Hook. & Grev.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
勐海凤尾蕨 <i>Pteris subquinata</i> Wall. ex Agardh	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
台湾凤尾蕨 <i>Pteris taiwanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西藏凤尾蕨 <i>Pteris tibetica</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
三叉凤尾蕨 <i>Pteris tripartita</i> Sw.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
波叶凤尾蕨 <i>Pteris undulatifinna</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
爪哇凤尾蕨 <i>Pteris venusta</i> Kunze	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
绿轴凤尾蕨 <i>Pteris viridissima</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
蜈蚣草 <i>Pteris vittata</i> L.	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
鸡冠凤尾蕨 <i>Pteris vittata</i> f. <i>cristata</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西南凤尾蕨 <i>Pteris wallichiana</i> Agardh	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
圆头凤尾蕨 <i>Pteris wallichiana</i> var. <i>obtus</i> a S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
云南凤尾蕨 <i>Pteris wallichiana</i> var. <i>yunnanensis</i> (Christ) Ching & S. H. Wu	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
栗轴凤尾蕨 <i>Pteris wangiana</i> Ching	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
乌来凤尾蕨 <i>Pteris</i> × <i>wulaiensis</i> C. M. Kuo	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西畴凤尾蕨 <i>Pteris xichouensis</i> W. M. Chu & Z. R. He	三裂缝 Trilete	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
竹叶蕨 <i>Taenitis blechnoides</i> (Willd.) Sw.	三裂缝 Trilete	竹叶蕨科 Taenitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
薄叶翠蕨 <i>Anogramma leptophylla</i> (L.) Link	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
翠蕨 <i>Anogramma microphylla</i> (Hook.) Diels	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
尖齿凤丫蕨 <i>Coniogramme affinis</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
尾尖凤丫蕨 <i>Coniogramme caudiformis</i> Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
峨眉凤丫蕨 <i>Coniogramme emeiensis</i> Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
镰羽凤丫蕨 <i>Coniogramme falcipinna</i> Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
单网凤丫蕨 <i>Coniogramme fauriei</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
全缘凤丫蕨 <i>Coniogramme fraxinea</i> (D. Don) Fée ex Diels	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
普通凤丫蕨 <i>Coniogramme intermedia</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
无毛凤丫蕨 <i>Coniogramme intermedia</i> var. <i>glabra</i> Ching	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
凤丫蕨 <i>Coniogramme japonica</i> (Thunb.) Diels	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
井冈山凤丫蕨 <i>Coniogramme jinggangshanensis</i> Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
海南凤丫蕨 <i>Coniogramme macrophylla</i> (Blume) Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
卵羽凤丫蕨 <i>Coniogramme ovata</i> S. K. Wu ex K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
心基凤丫蕨 <i>Coniogramme petelotii</i> Tardieu	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
直角凤丫蕨 <i>Coniogramme procera</i> Fée	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
骨齿凤丫蕨 <i>Coniogramme pubescens</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
黑轴凤丫蕨 <i>Coniogramme robusta</i> Christ	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
棕轴凤丫蕨 <i>Coniogramme robusta</i> var. <i>repundula</i> Ching ex K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
黄轴凤丫蕨 <i>Coniogramme robusta</i> var. <i>splendens</i> Ching ex K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
乳头凤丫蕨 <i>Coniogramme rosthornii</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
紫秆凤丫蕨 <i>Coniogramme rubicaulis</i> Ching ex K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
澜沧凤丫蕨 <i>Coniogramme serrulata</i> (Blume) Fee	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
紫柄凤丫蕨 <i>Coniogramme sinensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
上毛凤丫蕨 <i>Coniogramme suprapilosa</i> Ching	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
美丽凤丫蕨 <i>Coniogramme venusta</i> Ching ex K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
疏网凤丫蕨 <i>Coniogramme wilsonii</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
川西金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris bipinnata</i> (Christ) K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
耳羽金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris bipinnata</i> var. <i>auriculata</i>	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
(Franch.) K. H. Shing			
滇西金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris delavayi</i> (Baker) K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
欧洲金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris marantae</i> (L.) K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
中间金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris marantae</i> var. <i>intermedia</i>	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
(Ching) K. H. Shing			
三角金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris sargentii</i> (Christ) K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
金毛裸蕨 <i>Paragymnopteris vestita</i> (Wall. ex C. Presl) K. H. Shing	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
拟泽泻蕨 <i>Parahemionitis cordata</i> (Roxb. ex Hook. & Grev.) Fraser-Jenk.	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
粉叶蕨 <i>Pityrogramme calomelanos</i> (L.) Link	三裂缝 Trilete	裸子蕨科 Hemionitidaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
白边粉背蕨 <i>Aleuritopteris albomarginata</i> (C. B. Clarke) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
粉背蕨 <i>Aleuritopteris anceps</i> (Blanford) Panigrahi	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
银粉背蕨 <i>Aleuritopteris argentea</i> (Gmel.) Fée	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
陕西粉背蕨 <i>Aleuritopteris argentea</i> var. <i>obscura</i> (Christ) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
金粉背蕨 <i>Aleuritopteris chrysophylla</i> (Hook.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
薄叶粉背蕨 <i>Aleuritopteris dalhousieae</i> (Hook.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
无盖粉背蕨 <i>Aleuritopteris doniana</i> S. K. Wu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
中间粉背蕨 <i>Aleuritopteris dubia</i> (C. Hope) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
裸叶粉背蕨 <i>Aleuritopteris duclouxii</i> (Christ) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
硫磺粉背蕨 <i>Aleuritopteris duclouxii</i> var. <i>sulphurea</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
杜氏粉背蕨 <i>Aleuritopteris duthiei</i> (Baker) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al., 2011; 张宪春等, 2013)
黑柄粉背蕨 <i>Aleuritopteris ebenipes</i> X. C. Zhang	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
台湾粉背蕨 <i>Aleuritopteris formosana</i> (Hayata) Tagawa	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
贡山粉背蕨 <i>Aleuritopteris gongshanensis</i> G. M. Zhang	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
阔盖粉背蕨 <i>Aleuritopteris grisea</i> (Blanford) Panigrahi	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
克氏粉背蕨 <i>Aleuritopteris krameri</i> (Franch. & Sav.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
华北粉背蕨 <i>Aleuritopteris kuhnii</i> (Milde) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
丽江粉背蕨 <i>Aleuritopteris likiangensis</i> Ching ex S. K. Wu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
雪白粉背蕨 <i>Aleuritopteris niphobola</i> (C. Chr.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
无粉雪白粉背蕨 <i>Aleuritopteris niphobola</i> var. <i>concolor</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
矮粉背蕨 <i>Aleuritopteris pygmaea</i> Ching ex S. K. Wu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
黔桂粉背蕨 <i>Aleuritopteris qianguiensis</i> W. M. Chu et H. G. Zhou	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
莲座粉背蕨 <i>Aleuritopteris rosulata</i> (C. Chr.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
棕毛粉背蕨 <i>Aleuritopteris rufa</i> (D. Don) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西畴粉背蕨 <i>Aleuritopteris sichouensis</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
美丽粉背蕨 <i>Aleuritopteris speciosa</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
毛叶粉背蕨 <i>Aleuritopteris squamosa</i> (C. Hope & C. H. Wright) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
绒毛粉背蕨 <i>Aleuritopteris subvillosa</i> (Hook.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西藏粉背蕨 <i>Aleuritopteris subvillosa</i> var. <i>tibetica</i> (Ching & S. K. Wu) H. S. Kung	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
阔羽粉背蕨 <i>Aleuritopteris tamburii</i> (Hook.) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
金爪粉背蕨 <i>Aleuritopteris veitchii</i> (Christ) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
雅砻粉背蕨 <i>Aleuritopteris yalungensis</i> H. S. Kung	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
疏羽碎米蕨 <i>Cheilosoria belangeri</i> (Bory) Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
毛轴碎米蕨 <i>Cheilosoria chusana</i> (Hook.) Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
脆叶碎米蕨 <i>Cheilosoria fragilis</i> (Hook.) Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
大理碎米蕨 <i>Cheilosoria hancockii</i> (Baker) Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
川藏碎米蕨 <i>Cheilosoria insignis</i> (Ching) Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
碎米蕨 <i>Cheilosoria mysurensis</i> (Wall. ex Hook.) Ching & K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
平羽碎米蕨 <i>Cheilosoria patula</i> (Baker) P. S. Wang	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
薄叶碎米蕨 <i>Cheilosoria tenuifolia</i> (Burm. f.) Trev.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
高山珠蕨 <i>Cryptogramma brunoniana</i> Wall. ex Hook. & Grev.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
陕西珠蕨 <i>Cryptogramma brunoniana</i> var. <i>sinensis</i> (Christ) G. M. Zhang	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
稀叶珠蕨 <i>Cryptogramma stelleri</i> (Gmel.) Prantl	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
黑心蕨 <i>Doryopteris concolor</i> (Langsd. & Fisch.) Kuhn	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
戟叶黑心蕨 <i>Doryopteris ludens</i> (Wall. ex Hook.) J. Sm.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
中华隐囊蕨 <i>Notholaena chinensis</i> Baker	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
隐囊蕨 <i>Notholaena hirsuta</i> (Poir.) Desv.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
狭叶金粉蕨 <i>Onychium angustifolium</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
黑足金粉蕨 <i>Onychium contiguum</i> C. Hope	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
独龙江金粉蕨 <i>Onychium dulongjiangense</i> W. M. Chu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
金粉蕨 <i>Onychium intermedia</i> (Desv.) C. Chr.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
野雉尾金粉蕨 <i>Onychium japonicum</i> (Thunb.) Kunze	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
栗柄金粉蕨 <i>Onychium japonicum</i> var. <i>lucidum</i> (D. Don) Christ	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
木坪金粉蕨 <i>Onychium moupinense</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
湖北金粉蕨 <i>Onychium moupinense</i> var. <i>ipii</i> (Ching) K. H. Shing	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
繁羽金粉蕨 <i>Onychium plumosum</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
金粉蕨 <i>Onychium siliculosum</i> (Desv.) C. Chr.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
蚀盖金粉蕨 <i>Onychium tenuifrons</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西藏金粉蕨 <i>Onychium tibeticum</i> Ching & S. K. Wu	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
四川旱蕨 <i>Pellaea connectens</i> C. Chr.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
三角羽旱蕨 <i>Pellaea hastata</i> (Thunb.) Prantl	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
滇西旱蕨 <i>Pellaea mairei</i> Brause	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
旱蕨 <i>Pellaea nitidula</i> (Hook.) Baker	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
宜昌旱蕨 <i>Pellaea patula</i> (Baker) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
凤尾旱蕨 <i>Pellaea paupercula</i> (Christ) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西南旱蕨 <i>Pellaea smithii</i> C. Chr.	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
禾秆旱蕨 <i>Pellaea straminea</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西藏旱蕨 <i>Pellaea straminea</i> var. <i>tibetica</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
毛旱蕨 <i>Pellaea trichophylla</i> (Baker) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
云南旱蕨 <i>Pellaea yunnanensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
小叶中国蕨 <i>Sinopteris albofusca</i> (Baker) Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
中国蕨 <i>Sinopteris grevilleoides</i> (Christ) C. Chr. & Ching	三裂缝 Trilete	中国蕨科 Sinopteridaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
毛足铁线蕨 <i>Adiantum bonatianum</i> Brause	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
无芒铁线蕨 <i>Adiantum bonatianum</i> var. <i>subaristatum</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
圆齿铁线蕨 <i>Adiantum breviserratum</i> (Ching) Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
团羽铁线蕨 <i>Adiantum capillus-junonis</i> Rupr.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i> L.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
条裂铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i> f. <i>dissectum</i> (Mart. & Galeot.) Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
鞭叶铁线蕨 <i>Adiantum caudatum</i> L.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
北江铁线蕨 <i>Adiantum chienii</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
白背铁线蕨 <i>Adiantum davidii</i> Franch.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长刺铁线蕨 <i>Adiantum davidii</i> var. <i>longispinum</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长尾铁线蕨 <i>Adiantum diaphanum</i> Blume	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
月芽铁线蕨 <i>Adiantum edentulum</i> Christ	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
鹤庆铁线蕨 <i>Adiantum edentulum</i> f. <i>muticum</i> (Ching) Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
蜀铁线蕨 <i>Adiantum edentulum</i> f. <i>refractum</i> (Christ) Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
普通铁线蕨 <i>Adiantum edgeworthii</i> Hook.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
肾盖铁线蕨 <i>Adiantum erythrochlamys</i> Diels	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
冯氏铁线蕨 <i>Adiantum fengianum</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长盖铁线蕨 <i>Adiantum fimbriatum</i> Christ	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
陕西铁线蕨 <i>Adiantum fimbriatum</i> var. <i>shensiense</i> (Ching) Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i> L.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
深山铁线蕨 <i>Adiantum formosanum</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
白垩铁线蕨 <i>Adiantum gravesii</i> Hance	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
圆柄铁线蕨 <i>Adiantum induratum</i> Christ	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
仙霞铁线蕨 <i>Adiantum juxtapositum</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
粤铁线蕨 <i>Adiantum lianxianense</i> Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
假鞭叶铁线蕨 <i>Adiantum malesianum</i> Ghatak	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
小铁线蕨 <i>Adiantum mariesii</i> Baker	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
孟连铁线蕨 <i>Adiantum menglianense</i> Y. Y. Qian	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
单盖铁线蕨 <i>Adiantum monochlamys</i> D. C. Eaton	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
灰背铁线蕨 <i>Adiantum myriosorum</i> Baker	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
掌叶铁线蕨 <i>Adiantum pedatum</i> L.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
半月形铁线蕨 <i>Adiantum philippense</i> L.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
毛叶铁线蕨 <i>Adiantum pubescens</i> Schkuhr	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
荷叶铁线蕨 <i>Adiantum reniforme</i> var. <i>sinense</i> Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
陇南铁线蕨 <i>Adiantum roborowskii</i> Maxim.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
峨眉铁线蕨 <i>Adiantum roborowskii</i> f. <i>faberi</i> (Baker) Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
台湾高山铁线蕨 <i>Adiantum roborowskii</i> var. <i>taiwanianum</i> (Tagawa) W. C. Shieh	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
苍山铁线蕨 <i>Adiantum sinicum</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
翅柄铁线蕨 <i>Adiantum soboliferum</i> Wall. ex Hook.	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
西藏铁线蕨 <i>Adiantum tibeticum</i> Ching	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
细叶铁线蕨 <i>Adiantum venustum</i> D. Don	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
钝齿铁线蕨 <i>Adiantum venustum</i> var. <i>wuliangense</i> Ching & Y. X. Lin	三裂缝 Trilete	铁线蕨科 Adiantaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
美叶车前蕨 <i>Antrophyum callifolium</i> Blume	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
栗色车前蕨 <i>Antrophyum castaneum</i> H. Ito	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
革叶车前蕨 <i>Antrophyum coriaceum</i> (D. Don) Wall. ex T. Moore	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
台湾车前蕨 <i>Antrophyum formosanum</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
车前蕨 <i>Antrophyum henryi</i> Hieron.	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
长柄车前蕨 <i>Antrophyum obovatum</i> Baker	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
无柄车前蕨 <i>Antrophyum parvulum</i> Blume	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
兰屿车前蕨 <i>Antrophyum sessilifolium</i> (Cav.) Spreng.	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
书带车前蕨 <i>Antrophyum vittarioides</i> Baker	三裂缝 Trilete	车前蕨科 Antrophyaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
剑叶书带蕨 <i>Haplopteris amboinensis</i> (Fé) X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
姬书带蕨 <i>Haplopteris anguste-elongata</i> (Hayata) E. H. Crane	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
带状书带蕨 <i>Haplopteris doniana</i> (Mett. ex Hieron.) E. H. Crane	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
唇边书带蕨 <i>Haplopteris elongata</i> (Sw.) E. H. Crane.	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
书带蕨 <i>Haplopteris flexuosa</i> (Fé) E. H. Crane.	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
平肋书带蕨 <i>Haplopteris fudzinoi</i> (Makino) E. H. Crane.	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
海南书带蕨 <i>Haplopteris hainanensis</i> (C. Chr. ex Ching) E. H.	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Crane			
喜马拉雅书带蕨 <i>Haplopteris himalayensis</i> (Ching) E. H. Crane	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
线叶书带蕨 <i>Haplopteris linearifolia</i> (Ching) X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
中囊书带蕨 <i>Haplopteris mediosora</i> (Hayata) X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
曲鳞书带蕨 <i>Haplopteris plurisulcata</i> (Ching) X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
锡金书带蕨 <i>Haplopteris sikkimensis</i> (Kuhn) E. H. Crane	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
广叶书带蕨 <i>Haplopteris taeniophylla</i> (Copel.) E. H. Crane.	单裂缝 Monolete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
连抱一条线蕨 <i>Monogramma paradoxa</i> (Fé) Bedd.	三裂缝 Trilete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
针叶蕨 <i>Vaginularia trichoidea</i> Fé	三裂缝 Trilete	书带蕨科 Vittariaceae	凤尾蕨科 Pteridaceae
亮毛蕨 <i>Acystopteris japonica</i> (Luer) Nakai	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
台湾亮毛蕨 <i>Acystopteris taiwaniana</i> (Tagawa) L. Love & D.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
Love			
禾秆亮毛蕨 <i>Acystopteris tenuisecta</i> (Blume) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
光叶蕨 <i>Cystoathyrium chinense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
皱孢冷蕨 <i>Cystopteris dickieana</i> Sim	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
冷蕨 <i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
贵州冷蕨 <i>Cystopteris guizhouensis</i> X. Y. Wang & P. S. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
西宁冷蕨 <i>Cystopteris kansuana</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
卷叶冷蕨 <i>Cystopteris modesta</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
高山冷蕨 <i>Cystopteris montana</i> (Lam.) Bernh. ex Desv.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
宝兴冷蕨 <i>Cystopteris moupinensis</i> Franch.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
膜叶冷蕨 <i>Cystopteris pellucida</i> (Franch.) Ching ex C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
欧洲冷蕨 <i>Cystopteris sudetica</i> A. Braun & Milde	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
藏冷蕨 <i>Cystopteris tibetica</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
欧洲羽节蕨 <i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newman	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
东亚羽节蕨 <i>Gymnocarpium oyamense</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
羽节蕨 <i>Gymnocarpium remote-pinnatum</i> (Hayata) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
密腺羽节蕨 <i>Gymnocarpium robertianum</i> (Hoffm.) Newman	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	冷蕨科 Cystopteridaceae
阿里山铁角蕨 <i>Asplenium adiantifrons</i> (Hayata) Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
革叶铁角蕨 <i>Asplenium adiantoides</i> (L.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
黑色铁角蕨 <i>Asplenium adiantum-nigrum</i> var. <i>yuanum</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
合生铁角蕨 <i>Asplenium adnatum</i> Copel.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
高山铁角蕨 <i>Asplenium aitchisonii</i> Fraser-Jenk. & Reichstein	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
有翅铁角蕨 <i>Asplenium alatulum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
阿尔泰铁角蕨 <i>Asplenium altaicense</i> (Kom.) Grubov	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
无配铁角蕨 <i>Asplenium apogamum</i> N. Murak. & Hatan.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
尖齿铁角蕨 <i>Asplenium argutum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
黑鳞铁角蕨 <i>Asplenium asterolepis</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
华南铁角蕨 <i>Asplenium austrochinense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
马尔康铁角蕨 <i>Asplenium barkamense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
南方铁角蕨 <i>Asplenium belangeri</i> (Bory) Kunze	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
华北铁角蕨 <i>Asplenium borealichinense</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
大盖铁角蕨 <i>Asplenium bullatum</i> Wall. ex Mett.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
线柄钱角蕨 <i>Asplenium capillipes</i> Makino	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
贡山铁角蕨 <i>Asplenium changputungense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
齿果铁角蕨 <i>Asplenium cheilosorum</i> Kunze ex Mett.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
城口铁角蕨 <i>Asplenium chengkouense</i> Ching ex H. S. Kung	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
线裂铁角蕨 <i>Asplenium coenobiale</i> Hance	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
相似铁角蕨 <i>Asplenium consimile</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
毛轴铁角蕨 <i>Asplenium crinicaule</i> Hance	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
乌来铁角蕨 <i>Asplenium cuneatiforme</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
德钦铁角蕨 <i>Asplenium degenense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
独龙江铁角蕨 <i>Asplenium dulongjiangense</i> Y. F. Deng	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
重齿铁角蕨 <i>Asplenium duplicatoserratum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
剑叶铁角蕨 <i>Asplenium ensiforme</i> Wall. ex Hook. & Grev.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
线叶铁角蕨 <i>Asplenium ensiforme</i> f. <i>stenophyllum</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
切边铁角蕨 <i>Asplenium excisum</i> C. Presl	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
镰叶铁角蕨 <i>Asplenium falcatum</i> Lam.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
复齿铁角蕨 <i>Asplenium filipes</i> Copel.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
网脉铁角蕨 <i>Asplenium finlaysonianum</i> Wall. ex Hook.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
南海铁角蕨 <i>Asplenium formosae</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
绒毛铁角蕨 <i>Asplenium furfuraceum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
乌木铁角蕨 <i>Asplenium fuscipes</i> Baker	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
腺齿铁角蕨 <i>Asplenium glanduliserrulatum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
厚叶铁角蕨 <i>Asplenium griffithianum</i> Hook.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
撕裂铁角蕨 <i>Asplenium gueinzianum</i> Mett. ex Kuhn	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
海南铁角蕨 <i>Asplenium hainanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
河北铁角蕨 <i>Asplenium hebeiense</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
肾羽铁角蕨 <i>Asplenium humistratum</i> Ching ex H. S. Kung	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
虎尾铁角蕨 <i>Asplenium incisum</i> Thunb.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
贵阳铁角蕨 <i>Asplenium interjectum</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
康定铁角蕨 <i>Asplenium kangdingense</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
江苏铁角蕨 <i>Asplenium kiangsuense</i> Ching ex Y. X. Jing	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
古玛丽铁角蕨 <i>Asplenium kukkonenii</i> Viane & Reichstein	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
乌柄铁角蕨 <i>Asplenium laui</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
雷波铁角蕨 <i>Asplenium leiboense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
裂叶铁角蕨 <i>Asplenium lobulatum</i> Mett. ex Kuhn	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
南海铁角蕨 <i>Asplenium loriceum</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
江南铁角蕨 <i>Asplenium loxogrammoides</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
兰屿铁角蕨 <i>Asplenium matsumurae</i> Christ ex Matsum.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
滇南铁角蕨 <i>Asplenium microtum</i> Maxon	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
宝兴铁角蕨 <i>Asplenium moupinense</i> Franch.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
大羽铁角蕨 <i>Asplenium neolaserpitiifolium</i> Tardieu & Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
多羽铁角蕨 <i>Asplenium neomultijugum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
郎木铁角蕨 <i>Asplenium neovarians</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
西北铁角蕨 <i>Asplenium nesii</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
倒挂铁角蕨 <i>Asplenium normale</i> D. Don	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
绿秆铁角蕨 <i>Asplenium obscurum</i> Blume	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
东南铁角蕨 <i>Asplenium oldhami</i> Hance	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
少羽铁角蕨 <i>Asplenium paucijugum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
北京铁角蕨 <i>Asplenium pekinense</i> Hance	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
透明铁角蕨 <i>Asplenium pellucidum</i> Lam.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
西南铁角蕨 <i>Asplenium praemorsum</i> Sw.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
长叶铁角蕨 <i>Asplenium prolongatum</i> Hook.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
内丘铁角蕨 <i>Asplenium propinquum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
西藏铁角蕨 <i>Asplenium pseudofontanum</i> Kossinsky	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
假大羽铁角蕨 <i>Asplenium pseudolaserpitiiifolium</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
假倒挂铁角蕨 <i>Asplenium pseudonormale</i> W. M. Chu & X. C. Zhang ex W. M. Chu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
斜裂铁角蕨 <i>Asplenium pseudopraemorsum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
两广铁角蕨 <i>Asplenium pseudowrightii</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
镇康铁角蕨 <i>Asplenium quercicola</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
微凹铁角蕨 <i>Asplenium retusulum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
骨碎补铁角蕨 <i>Asplenium ritoense</i> Hayata	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
瑞丽铁角蕨 <i>Asplenium rockii</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
卵叶铁角蕨 <i>Asplenium ruta-muraria</i> L.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
岭南铁角蕨 <i>Asplenium sampsonii</i> Hance	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
华中铁角蕨 <i>Asplenium sarelii</i> Hook.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
石生铁角蕨 <i>Asplenium saxicola</i> Rosent.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
狭叶铁角蕨 <i>Asplenium scortechinii</i> Bedd.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
半变异铁角蕨 <i>Asplenium semivarians</i> Viane & Reichst.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
叉叶铁角蕨 <i>Asplenium septentrionale</i> (L.) Hoffm.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
华东铁角蕨 <i>Asplenium serratissimum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
兰屿铁角蕨 <i>Asplenium serricula</i> Fée	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
四国铁角蕨 <i>Asplenium shikokianum</i> Makino	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
匙形铁角蕨 <i>Asplenium spathulinum</i> J. Sm.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
黑边铁角蕨 <i>Asplenium speluncae</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
圆齿铁角蕨 <i>Asplenium subcrenatum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
掌裂铁角蕨 <i>Asplenium subdigitatum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
拟大羽铁角蕨 <i>Asplenium sublaserpitiifolium</i> Ching ex Tardieu & Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
长柄铁角蕨 <i>Asplenium sublongum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
小铁角蕨 <i>Asplenium subnormale</i> Copel.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
圆叶铁角蕨 <i>Asplenium suborbiculare</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
疏羽铁角蕨 <i>Asplenium subtenuifolium</i> (Christ) Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
大瑶山铁角蕨 <i>Asplenium subtrapezoideum</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
天全铁角蕨 <i>Asplenium szechuanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
台湾铁角蕨 <i>Asplenium taiwanense</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
膜连铁角蕨 <i>Asplenium tenerum</i> Forst.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
细茎铁角蕨 <i>Asplenium tenuicaule</i> Hayata	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
钝齿铁角蕨 <i>Asplenium tenuicaule</i> var. <i>subvarians</i> (Ching) Viane	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
细裂铁角蕨 <i>Asplenium tenuifolium</i> D. Don	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
新竹铁角蕨 <i>Asplenium tenuissimum</i> Hayata	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
天目铁角蕨 <i>Asplenium tianmushanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
天山铁角蕨 <i>Asplenium tianshanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
都匀铁角蕨 <i>Asplenium toramanum</i> Makino	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
蒙自铁角蕨 <i>Asplenium trapezoideum</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
铁角蕨 <i>Asplenium trichomanes</i> L.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
喜钙亚种 <i>Asplenium trichomanes</i> ssp. <i>inexpectans</i> Lovis	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
粗轴亚种 <i>Asplenium trichomanes</i> ssp. <i>pachyrachis</i> (Christ) Lovis & Reichst.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
四倍亚种 <i>Asplenium trichomanes</i> ssp. <i>quadrivalens</i> D. E. Meyer.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
哈如变种 <i>Asplenium trichomanes</i> var. <i>harovii</i> Moore emend. Midle	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
台南铁角蕨 <i>Asplenium trigonopterum</i> Kunze	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
三翅铁角蕨 <i>Asplenium tripteropus</i> Nakai	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
阴湿铁角蕨 <i>Asplenium unilaterale</i> var. <i>udum</i> Atkinson ex C. B. Clarke	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
半边铁角蕨 <i>Asplenium unilaterale</i> Lam.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
变异铁角蕨 <i>Asplenium varians</i> Wall. ex Hook. & Grev.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
欧亚铁角蕨 <i>Asplenium viride</i> Huds.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
闽浙铁角蕨 <i>Asplenium wilfordii</i> Mett. ex Kuhn	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
狭翅铁角蕨 <i>Asplenium wrightii</i> A. A. Eaton ex Hook.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
疏齿铁角蕨 <i>Asplenium wrightioides</i> Christ	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
东海铁角蕨 <i>Asplenium</i> × <i>castaneoviride</i> Baker	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
王氏铁角蕨 <i>Asplenium</i> × <i>wangii</i> C. M. Kuo	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
新疆铁角蕨 <i>Asplenium xinjiangense</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
胎生铁角蕨 <i>Asplenium yoshinagae</i> Makino	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
印度铁角蕨 <i>Asplenium yoshinagae</i> var. <i>indicum</i> (Sledge) Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
云南铁角蕨 <i>Asplenium yunnanense</i> Franch.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
细辛蕨 <i>Boniniella cardiophylla</i> (Hance) Tagawa	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
过山蕨 <i>Camptosorus sibiricus</i> Rupr.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
药蕨 <i>Ceterach officinarum</i> (L.) DC.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
大叶苍山蕨 <i>Ceterachopsis magnifica</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
疏脉苍山蕨 <i>Ceterachopsis paucivenosa</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
倭江苍山蕨 <i>Ceterachopsis qiujiangensis</i> Ching & S. H. Fu ex Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
大鳞巢蕨 <i>Neottopteris antiqua</i> (Makino) Masam.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
狭翅巢蕨 <i>Neottopteris antrophyoides</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
鸡冠巢蕨 <i>Neottopteris antrophyoides</i> var. <i>cristata</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
狭鳞巢蕨 <i>Neottopteris grevillei</i> (Wall. ex Hook. & Grev.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
扁柄巢蕨 <i>Neottopteris humbertii</i> (Tardieu) Tagawa	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
阔足巢蕨 <i>Neottopteris latibasis</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
阔翅巢蕨 <i>Neottopteris latipes</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
长柄巢蕨 <i>Neottopteris longistipes</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
巢蕨 <i>Neottopteris nidus</i> (L.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
长叶巢蕨 <i>Neottopteris phyllitidis</i> (D. Don) J. Sm.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
尖头巢蕨 <i>Neottopteris salwinensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
狭叶巢蕨 <i>Neottopteris simonsiana</i> (Hook.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
黑鳞巢蕨 <i>Neottopteris subantiqua</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
东北对开蕨 <i>Phyllitis japonica</i> Kom.	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
水螫蕨 <i>Sinephropteris delavayi</i> (Franch.) Mickel	单裂缝 Monolete	铁角蕨科 Aspleniaceae	铁角蕨科 Aspleniaceae
川黔肠蕨 <i>Diplaziopsis cavaleriana</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	肠蕨科 Diplaziopsidaceae
肠蕨 <i>Diplaziopsis javanica</i> (Blume) C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	肠蕨科 Diplaziopsidaceae
脆叶轴果蕨 <i>Rhachidosorus blotianus</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	轴果蕨科 Rhachidosoraceae
喜钙轴果蕨 <i>Rhachidosorus consimilis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	轴果蕨科 Rhachidosoraceae
轴果蕨 <i>Rhachidosorus mesosorus</i> (Makino) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	轴果蕨科 Rhachidosoraceae
台湾轴果蕨 <i>Rhachidosorus pulcher</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	轴果蕨科 Rhachidosoraceae
云贵轴果蕨 <i>Rhachidosorus truncatus</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	轴果蕨科 Rhachidosoraceae
星毛蕨 <i>Ampelopteris prolifera</i> (Retz.) Copel.	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
耳羽钩毛蕨 <i>Cyclogramma auriculata</i> (J. Sm.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
焕镛钩毛蕨 <i>Cyclogramma chunii</i> (Ching) Tagawa	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
无量山钩毛蕨 <i>Cyclogramma costularisora</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
小叶钩毛蕨 <i>Cyclogramma flexilis</i> (Christ) Tagawa	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭基钩毛蕨 <i>Cyclogramma leveillei</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
滇东钩毛蕨 <i>Cyclogramma neoauriculata</i> (Ching) Tagawa	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
峨眉钩毛蕨 <i>Cyclogramma omeiensis</i> (Baker) Tagawa	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
西藏钩毛蕨 <i>Cyclogramma tibetica</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
缩羽毛蕨 <i>Cyclosorus abbreviatus</i> Ching & K. H. Shing ex K. H. Shing & J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i> (Houtt.) Nakai	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
锐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acutissimus</i> Ching ex K. H. Shing & J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
线羽毛蕨 <i>Cyclosorus angustipinnus</i> (Ching) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭羽毛蕨 <i>Cyclosorus angustus</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
干旱毛蕨 <i>Cyclosorus aridus</i> (D. Don) Tagawa	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
下延毛蕨 <i>Cyclosorus attenuatus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
金腺毛蕨 <i>Cyclosorus aureoglandulosus</i> Ching & K. H. Shing ex Ching & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
短柄毛蕨 <i>Cyclosorus brevipes</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
多耳毛蕨 <i>Cyclosorus caii</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
三合毛蕨 <i>Cyclosorus calvescens</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
苍南毛蕨 <i>Cyclosorus cangnanensis</i> K. H. Shing & C. F.	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Zhang			
程氏毛蕨 <i>Cyclosorus chengii</i> Ching ex K. H. Shing & J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
秦氏毛蕨 <i>Cyclosorus chingii</i> Z. Y. Liu ex Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
慈利毛蕨 <i>Cyclosorus ciliensis</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
棒腺毛蕨 <i>Cyclosorus clavatus</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭缩毛蕨 <i>Cyclosorus contractus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
鳞柄毛蕨 <i>Cyclosorus crinipes</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭基毛蕨 <i>Cyclosorus cuneatus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
大明山毛蕨 <i>Cyclosorus damingshanensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光盖毛蕨 <i>Cyclosorus decipiens</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
德化毛蕨 <i>Cyclosorus dehuaensis</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
齿牙毛蕨 <i>Cyclosorus dentatus</i> (Forssk.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
疏羽毛蕨 <i>Cyclosorus dissitus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
独龙江毛蕨 <i>Cyclosorus dulongjiangensis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
广叶毛蕨 <i>Cyclosorus ensifer</i> (Tagawa) W. C. Shieh	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
河池毛蕨 <i>Cyclosorus euphlebius</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
展羽毛蕨 <i>Cyclosorus evolutus</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
高大毛蕨 <i>Cyclosorus excelsior</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
平基毛蕨 <i>Cyclosorus flaccidus</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
岑叶毛蕨 <i>Cyclosorus fraxinifolius</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
福建毛蕨 <i>Cyclosorus fukienensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
高雄毛蕨 <i>Cyclosorus gaoxiongensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光羽毛蕨 <i>Cyclosorus glabellus</i> Ching (mon.nud.)	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光叶毛蕨 <i>Cyclosorus glabrescens</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
大毛蕨 <i>Cyclosorus grandissimus</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
粗齿毛蕨 <i>Cyclosorus grossodentatus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
古斯塔毛蕨 <i>Cyclosorus gustavii</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
海南毛蕨 <i>Cyclosorus hainanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
异果毛蕨 <i>Cyclosorus heterocarpus</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛脚毛蕨 <i>Cyclosorus hirtipes</i> K. H. Shing & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛囊毛蕨 <i>Cyclosorus hirtisorus</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
河口毛蕨 <i>Cyclosorus hokouensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
学煜毛蕨 <i>Cyclosorus houi</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛蕨 <i>Cyclosorus interruptus</i> (Willd.) H. Ito	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
闽台毛蕨 <i>Cyclosorus jaculosus</i> (Christ) H. Ito	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
景洪毛蕨 <i>Cyclosorus jinghongensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
九龙山毛蕨 <i>Cyclosorus jiulongshanensis</i> P.S. Chiu & Yao ex Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
夔州毛蕨 <i>Cyclosorus kuizhouensis</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
细柄毛蕨 <i>Cyclosorus kuliangensis</i> (Ching) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
贵州毛蕨 <i>Cyclosorus kweichowensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
宽羽毛蕨 <i>Cyclosorus latipinnus</i> (Hook. ex Bak.in Hook. & Baker) Tardieu ex Tardieu & C.Chr.	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
心祁毛蕨 <i>Cyclosorus laui</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
雷波毛蕨 <i>Cyclosorus leipoensis</i> Ching & H. S. Kung ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
龙栖山毛蕨 <i>Cyclosorus longqishanensis</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
阔羽毛蕨 <i>Cyclosorus macrophyllus</i> Ching & Z. Y. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
墨脱毛蕨 <i>Cyclosorus medogensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
冕宁毛蕨 <i>Cyclosorus mianningensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
美丽毛蕨 <i>Cyclosorus molliusculus</i> (Wall. ex Kuhn) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
多囊毛蕨 <i>Cyclosorus multisorus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
南平毛蕨 <i>Cyclosorus nanpingensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
南溪毛蕨 <i>Cyclosorus nanxiensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
峨眉毛蕨 <i>Cyclosorus omeigensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
对羽毛蕨 <i>Cyclosorus oppositipinnus</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
腺脉毛蕨 <i>Cyclosorus opulentus</i> (Kaulf.) Nakai	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
东方毛蕨 <i>Cyclosorus orientalis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
蝶状毛蕨 <i>Cyclosorus papilio</i> (C. Hope) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
蝶羽毛蕨 <i>Cyclosorus papilionaceus</i> K. H. Shing & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
宽顶毛蕨 <i>Cyclosorus paracuminatus</i> Ching ex K. H. Shing & J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
长尾毛蕨 <i>Cyclosorus paralatipinnus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
岳麓山毛蕨 <i>Cyclosorus pararidus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i> (L.) Farwell	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
小叶毛蕨 <i>Cyclosorus parvifolius</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
龙胜毛蕨 <i>Cyclosorus parvilobus</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
齿片毛蕨 <i>Cyclosorus pauciserratus</i> Ching & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
屏山毛蕨 <i>Cyclosorus pingshanensis</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
无腺毛蕨 <i>Cyclosorus procurrens</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
兰屿大叶毛蕨 <i>Cyclosorus productus</i> (Kaulf.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
越北毛蕨 <i>Cyclosorus proximus</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
假干旱毛蕨 <i>Cyclosorus pseudoaridus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
楔形毛蕨 <i>Cyclosorus pseudocunneatus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭叶毛蕨 <i>Cyclosorus pumilis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
矮毛蕨 <i>Cyclosorus pygmaeus</i> Ching & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
石生毛蕨 <i>Cyclosorus rupicola</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
三都毛蕨 <i>Cyclosorus sanduensis</i> K. H. Shing & P. S. Wang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
糙叶毛蕨 <i>Cyclosorus scaberulus</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
锯齿毛蕨 <i>Cyclosorus serrifer</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
石门毛蕨 <i>Cyclosorus simenensis</i> K. H. Shing & C. M. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
拟渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus sino-acuminatus</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
中华齿状毛蕨 <i>Cyclosorus sinodentatus</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
疏囊毛蕨 <i>Cyclosorus sparsisorus</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭脚毛蕨 <i>Cyclosorus stenopes</i> Ching & K. H. Shing ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
假渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus subacuminatus</i> Ching ex K. H. Shing & J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
短尖毛蕨 <i>Cyclosorus subacutus</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
巨型毛蕨 <i>Cyclosorus subelatus</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
万金毛蕨 <i>Cyclosorus subnamburensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
秦宁毛蕨 <i>Cyclosorus tarningensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
顶育毛蕨 <i>Cyclosorus terminans</i> (J. Sm. ex Hook.) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
河边毛蕨 <i>Cyclosorus transitorius</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
截裂毛蕨 <i>Cyclosorus truncatus</i> (Poir.) Farwell	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
黄志毛蕨 <i>Cyclosorus wangii</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
望谟毛蕨 <i>Cyclosorus wangmoensis</i> K. H. Shing & P. S. Wang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
温州毛蕨 <i>Cyclosorus wenzhouensis</i> K. H. Shing & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
武陵毛蕨 <i>Cyclosorus wulingshanensis</i> C. M. Zhang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
云南毛蕨 <i>Cyclosorus yunnanensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
朝芳毛蕨 <i>Cyclosorus zhangii</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
圣蕨 <i>Dictyocline griffithii</i> T. Moore	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
羽裂圣蕨 <i>Dictyocline griffithii</i> var. <i>wilfordii</i> (Hook.) T. Moore	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
闽浙圣蕨 <i>Dictyocline mingchegensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
戟叶圣蕨 <i>Dictyocline sagittifolia</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
峨眉方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis emeiensis</i> Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛囊方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis eriocarpa</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis erubescens</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
金佛山方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis jinfushanensis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
柔弱方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis mollis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
粉红方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis rufostraminea</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
四川方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis sichuanensis</i> Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
大叶方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis splendens</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
柔毛方秆蕨 <i>Glaphyopteridopsis villosa</i> Ching & W. M. Chu ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
华中茯蕨 <i>Leptogramma centrochinensis</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
喜马拉雅茯蕨 <i>Leptogramma himalaica</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
惠水茯蕨 <i>Leptogramma huishuiensis</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
中间茯蕨 <i>Leptogramma intermedia</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
金佛山茯蕨 <i>Leptogramma jinfoshanensis</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛叶茯蕨 <i>Leptogramma pozoi</i> (Lag.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
峨眉茯蕨 <i>Leptogramma scallanii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
中华茯蕨 <i>Leptogramma sinica</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
小叶茯蕨 <i>Leptogramma tottoides</i> H. Ito	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
雅安茯蕨 <i>Leptogramma yahanensis</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
细裂针毛蕨 <i>Macrothelypteris contingens</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
针毛蕨 <i>Macrothelypteris oligophlebia</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
长沙针毛蕨 <i>Macrothelypteris oligophlebia</i> var. <i>changshaensis</i> (Ching) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
雅致针毛蕨 <i>Macrothelypteris oligophlebia</i> var. <i>elegans</i> (Koidz.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
树形针毛蕨 <i>Macrothelypteris ornata</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
桫欏针毛蕨 <i>Macrothelypteris polypodioides</i> (Hook.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
刚鳞针毛蕨 <i>Macrothelypteris setigera</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
普通针毛蕨 <i>Macrothelypteris torresiana</i> (Gaud.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
翠绿针毛蕨 <i>Macrothelypteris viridifrons</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
龙津蕨 <i>Mesopteris tonkinensis</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
微毛凸轴蕨 <i>Metathelypteris adscendens</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
迷人凸轴蕨 <i>Metathelypteris decipiens</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
三角叶凸轴蕨 <i>Metathelypteris deltoideofrons</i> Ching ex W. M. Chu & S. G. Lu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
薄叶凸轴蕨 <i>Metathelypteris flaccida</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
有腺凸轴蕨 <i>Metathelypteris glandulifera</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
具腺凸轴蕨 <i>Metathelypteris glandulosa</i> H. G. Zhou & Hua Li	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
凸轴蕨 <i>Metathelypteris gracilescens</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
林下凸轴蕨 <i>Metathelypteris hattorii</i> (H. Ito) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
疏羽凸轴蕨 <i>Metathelypteris laxa</i> (Franch. & Sav.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
有柄凸轴蕨 <i>Metathelypteris petiolulata</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
鲜绿凸轴蕨 <i>Metathelypteris singalanensis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
乌来凸轴蕨 <i>Metathelypteris uraiensis</i> (Rosenst.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
西藏凸轴蕨 <i>Metathelypteris uraiensis</i> var. <i>tibetica</i> (Ching &	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
S.K. Wu) K.H. Shing			
武夷山凸轴蕨 <i>Metathelypteris wuyishanica</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
钝角金星蕨 <i>Parathelypteris angulariloba</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭叶金星蕨 <i>Parathelypteris angustifrons</i> (Miq.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
长根金星蕨 <i>Parathelypteris beddomei</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
狭脚金星蕨 <i>Parathelypteris borealis</i> (Hara) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
台湾金星蕨 <i>Parathelypteris castanea</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
马蹄金星蕨 <i>Parathelypteris cystopteroides</i> (A. A. Eaton) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i> (Kunze) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
矮小金星蕨 <i>Parathelypteris grammitoides</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛脚金星蕨 <i>Parathelypteris hirsutipes</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
滇越金星蕨 <i>Parathelypteris indochinensis</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光脚金星蕨 <i>Parathelypteris japonica</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光叶金星蕨 <i>Parathelypteris japonica</i> var. <i>glabrata</i> (Ching) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
禾秆金星蕨 <i>Parathelypteris japonica</i> var. <i>musashiensis</i> (Hiyama) Jiang	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
中日金星蕨 <i>Parathelypteris nipponica</i> (Franch. & Sav.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
长毛金星蕨 <i>Parathelypteris petelotii</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
有齿金星蕨 <i>Parathelypteris serrutula</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
海南金星蕨 <i>Parathelypteris subimmersa</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
卵果蕨 <i>Phegopteris connectilis</i> (Michx.) Watt	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
延羽卵果蕨 <i>Phegopteris decursive-pinnata</i> (van Hall) Fée	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
西藏卵果蕨 <i>Phegopteris tibetica</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
顶芽新月蕨 <i>Pronephrium cuspidatum</i> (Blume) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
小叶新月蕨 <i>Pronephrium gracilis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
新月蕨 <i>Pronephrium gymnopteridifrons</i> (Hayata) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
河口新月蕨 <i>Pronephrium hekouense</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
针毛新月蕨 <i>Pronephrium hirsutum</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
岛生新月蕨 <i>Pronephrium insularis</i> (K. Iwats.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
红色新月蕨 <i>Pronephrium lakhimpurens</i> (Rosenst.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
长柄新月蕨 <i>Pronephrium longipetiolatum</i> (K. Iwats.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
硕羽新月蕨 <i>Pronephrium macrophyllum</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
墨脱新月蕨 <i>Pronephrium medogensense</i> Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
微红新月蕨 <i>Pronephrium megacuspe</i> (Baker) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
大羽新月蕨 <i>Pronephrium nudatum</i> (Roxb.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
披针新月蕨 <i>Pronephrium penangianum</i> (Hook.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
刚毛新月蕨 <i>Pronephrium setosum</i> Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
单叶新月蕨 <i>Pronephrium simplex</i> (Hook.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
三羽新月蕨 <i>Pronephrium triphyllum</i> (Sw.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
羽叶新月蕨 <i>Pronephrium triphyllum</i> var. <i>parishii</i> (Bedd.) C. M. Kuo	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
喜马拉雅假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus canus</i> (Baker) Holttum & Grimes	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
尾羽假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus caudipinnus</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
青岩假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus cavaleriei</i> (H. Lév.) Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
溪边假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus ciliatus</i> (Benth.) Ching	三裂缝 Trilete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
苍山假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus duclouxii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
西南假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus esquirolii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
镰片假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus falcilobus</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
阔片假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus latilobus</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
独龙江假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus ornatipes</i> Holttum & J. W. Grimes	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
武宁假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus paraochthodes</i> Ching ex K. H. Shing ex J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
双柏假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus shuangbaiensis</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
普通假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus subochthodes</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
西藏假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus tibeticus</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus tylodes</i> (Kunze) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
察隅假毛蕨 <i>Pseudocyclosorus zayuensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
耳状紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris aurita</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
短柄紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris brevipes</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
密毛紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris hirtirachis</i> (C. Chr.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
星毛紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris levingei</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
禾秆紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris microstegia</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
毛囊紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris paludosa</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris pyrrhorachis</i> (Kunze) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光叶紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris pyrrhorachis</i> var. <i>glabrata</i> (Clarke) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
对生紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris rectangularis</i> (Zoll.) Holttum	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
光囊紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris subaurita</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
西藏紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris tibetana</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
易贡紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris yigongensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
云贵紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris yunkweiensis</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
察隅紫柄蕨 <i>Pseudophegopteris zayuensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
贯众叶溪边蕨 <i>Stegnogramma cyrtomioides</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
屏边溪边蕨 <i>Stegnogramma dictyoclinoides</i> Ching	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
缙云溪边蕨 <i>Stegnogramma diplazioides</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
兴文溪边蕨 <i>Stegnogramma xingwenensis</i> Ching ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
鳞片沼泽蕨 <i>Thelypteris confluens</i> (Thunb.) C. V. Morton	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
沼泽蕨 <i>Thelypteris palustris</i> (Salisb.) Schott	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
毛叶沼泽蕨 <i>Thelypteris palustris</i> var. <i>pubescens</i> (Lawson) Fernald	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨科 Thelypteridaceae
长叶滇蕨 <i>Cheilanthesis elongata</i> (Hook.) Copel.	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
滇蕨 <i>Cheilanthesis indusiosa</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
膀胱蕨 <i>Protowoodsia manchuriensis</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
渐尖岩蕨 <i>Woodsia acuminata</i> (Fomin) Sipl.	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
新疆岩蕨 <i>Woodsia alpina</i> (Boltan) Gray	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
蜘蛛岩蕨 <i>Woodsia andersonii</i> (Bedd.) Christ	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
赤色岩蕨 <i>Woodsia cinnamomea</i> Christ	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
栗柄岩蕨 <i>Woodsia cycloloba</i> Hand.-Mazz.	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
疏裂岩蕨 <i>Woodsia frondosa</i> Christ	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
光岩蕨 <i>Woodsia glabella</i> R. Brown ex Richards.	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
华北岩蕨 <i>Woodsia hancockii</i> Baker	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
岩蕨 <i>Woodsia ilvensis</i> (L.) R. Brown	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
东亚岩蕨 <i>Woodsia intermedia</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
毛盖岩蕨 <i>Woodsia lanosa</i> Hook.	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
大囊岩蕨 <i>Woodsia macrochlaena</i> Mett. ex Kuhn	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
甘南岩蕨 <i>Woodsia macrospora</i> C. Chr. & Maxon	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
妙峰岩蕨 <i>Woodsia oblonga</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
冈本氏岩蕨 <i>Woodsia okamotoi</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
嵩县岩蕨 <i>Woodsia pilosa</i> Ching	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
耳羽岩蕨 <i>Woodsia polystichoides</i> D. C. Eaton	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
密毛岩蕨 <i>Woodsia rosthorniana</i> Diels	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
神农岩蕨 <i>Woodsia shennongensis</i> D. S. Jiang & D. M. Chen	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
陕西岩蕨 <i>Woodsia shensiensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
山西岩蕨 <i>Woodsia sinica</i> Ching	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
等基岩蕨 <i>Woodsia subcordata</i> Turcz.	单裂缝 Monolete	岩蕨科 Woodsiaceae	岩蕨科 Woodsiaceae
狭翅短肠蕨 <i>Allantodia alata</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
奄美短肠蕨 <i>Allantodia amamiana</i> (Tagawa) W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
安顺短肠蕨 <i>Allantodia anshunica</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
粗糙短肠蕨 <i>Allantodia aspera</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
百山祖短肠蕨 <i>Allantodia baishanzuensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
美丽短肠蕨 <i>Allantodia bella</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长果短肠蕨 <i>Allantodia calogramma</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
拟长果短肠蕨 <i>Allantodia calogrammoides</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中华短肠蕨 <i>Allantodia chinensis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
边生短肠蕨 <i>Allantodia contermina</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑鳞短肠蕨 <i>Allantodia crenata</i> (Sommerf.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
无毛黑鳞短肠蕨 <i>Allantodia crenata</i> var. <i>glabra</i> (Tagawa) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛柄短肠蕨 <i>Allantodia dilatata</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
光脚短肠蕨 <i>Allantodia doederleinii</i> (Luer ss.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
独龙江短肠蕨 <i>Allantodia dulongjiangensis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
独山短肠蕨 <i>Allantodia dushanensis</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大型短肠蕨 <i>Allantodia gigantea</i> (Bot.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
格林短肠蕨 <i>Allantodia glingensis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
镰羽短肠蕨 <i>Allantodia griffithii</i> (T. Moore) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
薄盖短肠蕨 <i>Allantodia hachijoensis</i> (Nakai) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
海南短肠蕨 <i>Allantodia hainanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
异果短肠蕨 <i>Allantodia heterocarpa</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
褐色短肠蕨 <i>Allantodia himalayensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
篦齿短肠蕨 <i>Allantodia hirsutipes</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
鳞轴短肠蕨 <i>Allantodia hirtipes</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑鳞鳞轴短肠蕨 <i>Allantodia hirtipes</i> f. <i>nigropaleacea</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛鳞短肠蕨 <i>Allantodia hirtisquama</i> Ching & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
疏裂短肠蕨 <i>Allantodia incompta</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
金佛山短肠蕨 <i>Allantodia jinfoshanicola</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
金平短肠蕨 <i>Allantodia jinpingensis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
甘肃短肠蕨 <i>Allantodia kansuensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
台湾短肠蕨 <i>Allantodia kappanensis</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
柄鳞短肠蕨 <i>Allantodia kawakamii</i> (Hayata) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阔羽短肠蕨 <i>Allantodia latipinnula</i> Ching & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
异裂短肠蕨 <i>Allantodia laxifrons</i> (Rosent.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
卵叶短肠蕨 <i>Allantodia leptophylla</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
浅裂短肠蕨 <i>Allantodia lobulosa</i> (Wall. ex Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
石林短肠蕨 <i>Allantodia lobulosa</i> var. <i>shilinicola</i> W. M. Chu & J. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阔片短肠蕨 <i>Allantodia matthewii</i> (Copel.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大叶短肠蕨 <i>Allantodia maxima</i> (D. Don) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
墨脱短肠蕨 <i>Allantodia medogensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大羽短肠蕨 <i>Allantodia megaphylla</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
深裂短肠蕨 <i>Allantodia metcalfii</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
江南短肠蕨 <i>Allantodia metteniana</i> (Miq.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
小叶短肠蕨 <i>Allantodia metteniana</i> var. <i>fauriei</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
假密果短肠蕨 <i>Allantodia multicaudata</i> (Wall. ex C. B. Clarke) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
高大短肠蕨 <i>Allantodia muricata</i> (Mett.) W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
南川短肠蕨 <i>Allantodia nanchuanica</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
乌鳞短肠蕨 <i>Allantodia nigrosquamosa</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
日本短肠蕨 <i>Allantodia nipponica</i> (Tagawa) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
假耳羽短肠蕨 <i>Allantodia okudairai</i> (Makino) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
卵果短肠蕨 <i>Allantodia ovata</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
褐柄短肠蕨 <i>Allantodia petelotii</i> (Tardieu) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
假镰羽短肠蕨 <i>Allantodia petri</i> (Tardieu) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
羽裂短肠蕨 <i>Allantodia pinnatifidopinnata</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
双生短肠蕨 <i>Allantodia prolixa</i> (Rosenst.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
矩圆短肠蕨 <i>Allantodia pseudosetigera</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
四棱短肠蕨 <i>Allantodia quadrangulata</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长羽柄短肠蕨 <i>Allantodia siamensis</i> (C. Chr.) Ching & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
锡金短肠蕨 <i>Allantodia sikkimensis</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
肉刺短肠蕨 <i>Allantodia similis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
密果短肠蕨 <i>Allantodia spectabilis</i> (Wall. ex Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
鳞柄短肠蕨 <i>Allantodia squamigera</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
网脉短肠蕨 <i>Allantodia stenochlamys</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
楔羽短肠蕨 <i>Allantodia subdilatata</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
棕鳞短肠蕨 <i>Allantodia subintegra</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
察隅短肠蕨 <i>Allantodia subspectabilis</i> Ching & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
肉质短肠蕨 <i>Allantodia succulenta</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
东北短肠蕨 <i>Allantodia taquetii</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
西藏短肠蕨 <i>Allantodia tibetica</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
圆裂短肠蕨 <i>Allantodia uraiensis</i> (Rosenst.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
淡绿短肠蕨 <i>Allantodia virescens</i> (Kunze) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
冲绳短肠蕨 <i>Allantodia virescens</i> var. <i>okinawaensis</i> (Tagawa) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
异基短肠蕨 <i>Allantodia virescens</i> var. <i>sugimotoi</i> (Sa. Kurata) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
草绿短肠蕨 <i>Allantodia viridescens</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
深绿短肠蕨 <i>Allantodia viridissima</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黄志短肠蕨 <i>Allantodia wangii</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
短果短肠蕨 <i>Allantodia wheeleri</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
耳羽短肠蕨 <i>Allantodia wichurae</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
龙池短肠蕨 <i>Allantodia wichurae</i> var. <i>parawichurae</i> (Ching) W.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
M. Chu & Z. R. He			
假江南短肠蕨 <i>Allantodia yaoshanensis</i> (Y. C. Wu) W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
安蕨 <i>Anisocampium cumingianum</i> C. Presl	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
华东安蕨 <i>Anisocampium sheareri</i> (Baker) Ching ex Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
岳麓山假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis abbreviata</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
美丽假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis concinna</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
钝羽假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis conilii</i> (Franch. & Sav.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
斜升假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis dickasonii</i> (M. Kato) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
二型叶假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis dimorphophylla</i> (Koidz.) Ching ex W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
直立介蕨 <i>Athyriopsis erecta</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis japonica</i> (Thunb.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
斜羽假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis japonica</i> var. <i>oshimensis</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
花叶假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis japonica</i> var. <i>variegata</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
金佛山假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis jinfoshanensis</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中日假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis kiusiana</i> (Koidz.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
昆明假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis longipes</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
鲁山假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis lushanensis</i> J. X. Li	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
南谷假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis minamitanii</i> (Seriz.) Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
峨眉假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis omeiensis</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阔羽假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis pachyphylla</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛轴假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis petersenii</i> (Kunze) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阔基假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis pseudoconilii</i> (Seriz.) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
山东假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis shandongensis</i> J. X. Li & Z. C. Ding	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长叶假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis tomitaroana</i> (Masam.) P. S. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
金平蹄盖蕨 <i>Athyrium adpressum</i> Ching & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
斜羽蹄盖蕨 <i>Athyrium adscendens</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
宿蹄盖蕨 <i>Athyrium anisopterum</i> Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
鹿角蹄盖蕨 <i>Athyrium araiostegioides</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阿里山蹄盖蕨 <i>Athyrium arisanense</i> (Hayata) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
剑叶蹄盖蕨 <i>Athyrium attenuatum</i> (Wall. ex C. B. Clarke) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
耳垂蹄盖蕨 <i>Athyrium auriculatum</i> Seriz.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
宝兴蹄盖蕨 <i>Athyrium baoxingense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
波密蹄盖蕨 <i>Athyrium bomicola</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
圆果蹄盖蕨 <i>Athyrium bucahwangense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
秦氏蹄盖蕨 <i>Athyrium chingianum</i> Z. R. Wang & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中越蹄盖蕨 <i>Athyrium christensenii</i> Tardieu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
芽胞蹄盖蕨 <i>Athyrium clarkei</i> Bedd.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
坡生蹄盖蕨 <i>Athyrium clivicola</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
短羽蹄盖蕨 <i>Athyrium contingens</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
川西蹄盖蕨 <i>Athyrium costulalisorum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
粗柄蹄盖蕨 <i>Athyrium crassipes</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
合欢山蹄盖蕨 <i>Athyrium cryptogrammoides</i> Hayata	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
拟鳞毛蕨 <i>Athyrium cuspidatum</i> (Bedd.) M. Kato	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大相岭蹄盖蕨 <i>Athyrium daxianglingense</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
林光蹄盖蕨 <i>Athyrium decorum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
翅轴蹄盖蕨 <i>Athyrium delavayi</i> Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
薄叶蹄盖蕨 <i>Athyrium delicatulum</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
溪边蹄盖蕨 <i>Athyrium deltoidofrons</i> Makino	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
瘦叶蹄盖蕨 <i>Athyrium deltoidofrons</i> var. <i>gracillinum</i> (Ching) Z.R.Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
密果蹄盖蕨 <i>Athyrium densisorum</i> X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
希陶蹄盖蕨 <i>Athyrium dentigerum</i> (Wall. ex C. B. Clarke) Mehra & Bir	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
齿尖蹄盖蕨 <i>Athyrium dentilobum</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
湿生蹄盖蕨 <i>Athyrium devolii</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
疏叶蹄盖蕨 <i>Athyrium dissitifolium</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
多变蹄盖蕨 <i>Athyrium drepanopterum</i> (Kunze) A. Braun ex Milde	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛翼蹄盖蕨 <i>Athyrium dubium</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
独龙江蹄盖蕨 <i>Athyrium dulongicolum</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长叶蹄盖蕨 <i>Athyrium elongatum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
轴果蹄盖蕨 <i>Athyrium epirachis</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
红柄蹄盖蕨 <i>Athyrium erythropodum</i> Hayata	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
高超蹄盖蕨 <i>Athyrium excelsius</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
无盖蹄盖蕨 <i>Athyrium exindusiatum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
麦秆蹄盖蕨 <i>Athyrium fallaciosum</i> Milde	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
方氏蹄盖蕨 <i>Athyrium fangii</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
喜马拉雅蹄盖蕨 <i>Athyrium fimbriatum</i> (Wall. ex Hook.) T. Moore	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
狭叶蹄盖蕨 <i>Athyrium flabellulatum</i> (C. B. Clarke) Tardieu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大盖蹄盖蕨 <i>Athyrium foliolosum</i> T. Moore ex Sim	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
广南蹄盖蕨 <i>Athyrium guangnanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
海南蹄盖蕨 <i>Athyrium hainanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中锡蹄盖蕨 <i>Athyrium himalaicum</i> Ching ex Mehra & Bir	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛轴蹄盖蕨 <i>Athyrium hirtirachis</i> Ching & Y. P. Hsu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
密羽蹄盖蕨 <i>Athyrium imbricatum</i> Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
凌云蹄盖蕨 <i>Athyrium infrapuberulum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中间蹄盖蕨 <i>Athyrium intermixtum</i> Ching & P. S. Chiu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长江蹄盖蕨 <i>Athyrium iseanum</i> Rosenst.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
紫柄蹄盖蕨 <i>Athyrium kenzo-satakei</i> Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
介贵山蹄盖蕨 <i>Athyrium kenzo-satakei</i> var. <i>jieguishanense</i> (Ching) Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
仓田蹄盖蕨 <i>Athyrium kuratae</i> Seriz.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
泸定蹄盖蕨 <i>Athyrium ludingense</i> Z. R. Wang & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
川滇蹄盖蕨 <i>Athyrium mackinnonii</i> (C. Hope) C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
墨脱蹄盖蕨 <i>Athyrium medogense</i> X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
狭基蹄盖蕨 <i>Athyrium mehrae</i> Bir	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑鳞蹄盖蕨 <i>Athyrium melanolepis</i> (Franch. & Sav.) Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
小蹄盖蕨 <i>Athyrium minimum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
红苞蹄盖蕨 <i>Athyrium nakanoi</i> Makino	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
疏羽蹄盖蕨 <i>Athyrium nephrodioides</i> (Baker) Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑足蹄盖蕨 <i>Athyrium nigripes</i> (Blume) T. Moore	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
日本蹄盖蕨 <i>Athyrium niponicum</i> (Mett.) Hance	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
聂拉木蹄盖蕨 <i>Athyrium nyalamense</i> Y. T. Hsieh & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
峨眉蹄盖蕨 <i>Athyrium omeiense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
对生蹄盖蕨 <i>Athyrium oppositipinnum</i> Hayata	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
光蹄盖蕨 <i>Athyrium otophorum</i> (Miq.) Koidz.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
裸囊蹄盖蕨 <i>Athyrium pachyphyllum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
萆齿蹄盖蕨 <i>Athyrium pectinatum</i> (Wall. ex Mett.) Bedd	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
贵州蹄盖蕨 <i>Athyrium pubicostatum</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
密腺蹄盖蕨 <i>Athyrium puncticaule</i> (Blume) T. Moore	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
逆叶蹄盖蕨 <i>Athyrium reflexipinnum</i> Hayata	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
轴生蹄盖蕨 <i>Athyrium rhachidosorum</i> (Hand.-Mazz.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
玫瑰蹄盖蕨 <i>Athyrium roseum</i> Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
岩生蹄盖蕨 <i>Athyrium rupicola</i> (Edgew ex C. Hope) C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
苍山蹄盖蕨 <i>Athyrium schimperi</i> Moug ex F&C	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
绢毛蹄盖蕨 <i>Athyrium sericellum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
高山蹄盖蕨 <i>Athyrium silvicola</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中华蹄盖蕨 <i>Athyrium sinense</i> Rupr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
软刺蹄盖蕨 <i>Athyrium strigillosum</i> (T. Moore ex Lowe) T. Moore ex Salom.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
上毛蹄盖蕨 <i>Athyrium suprapubescense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
腺叶蹄盖蕨 <i>Athyrium supraspinescens</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
三回蹄盖蕨 <i>Athyrium tripinnatum</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
粗脉蹄盖蕨 <i>Athyrium venulosum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
尖头蹄盖蕨 <i>Athyrium vidalii</i> (Franch. & Sav.) Nakai	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
松谷蹄盖蕨 <i>Athyrium vidalii</i> var. <i>amabile</i> (Ching) Z. R. Wang.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
胎生蹄盖蕨 <i>Athyrium viviparum</i> Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑秆蹄盖蕨 <i>Athyrium wallichianum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
启无蹄盖蕨 <i>Athyrium wangii</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
华中蹄盖蕨 <i>Athyrium wardii</i> (Hook.) Makino	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
无量山蹄盖蕨 <i>Athyrium wuliangshanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
尖阿蹄盖蕨 <i>Athyrium × hohuanshanense</i> Yoshik.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑合蹄盖蕨 <i>Athyrium × pseudocryptogrammoides</i> Yoshik.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
禾秆蹄盖蕨 <i>Athyrium yokoscense</i> (Franch. & Sav.) Christ	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
俞氏蹄盖蕨 <i>Athyrium yui</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
察隅蹄盖蕨 <i>Athyrium zayuense</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
菜蕨 <i>Callipteris esculenta</i> (Retz.) J. Sm. ex T. Moore & Houlst.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛轴菜蕨 <i>Callipteris esculenta</i> var. <i>pubescens</i> (Link) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
刺轴菜蕨 <i>Callipteris paradoxa</i> (Fé) T. Moore	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
密羽角蕨 <i>Cornopteris approximata</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
复叶角蕨 <i>Cornopteris badia</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛复叶角蕨 <i>Cornopteris badia</i> f. <i>quadripinnatifida</i> (M. Kato) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
溪生角蕨 <i>Cornopteris banahaoensis</i> (C. Chr.) K. Iwats & Price	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
尖羽角蕨 <i>Cornopteris christenseniana</i> (Koidz.) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
细齿角蕨 <i>Cornopteris crenuloserrulata</i> (Makino) Nakai	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
角蕨 <i>Cornopteris decurrenti-alata</i> (Hook.) Nakai	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛叶角蕨 <i>Cornopteris decurrenti-alata</i> f. <i>pilosella</i> (H. Ito) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阔基角蕨 <i>Cornopteris latibasis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阔片角蕨 <i>Cornopteris latiloba</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大叶角蕨 <i>Cornopteris major</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
峨眉角蕨 <i>Cornopteris omeiensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黑叶角蕨 <i>Cornopteris opaca</i> (Don) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
变光黑叶角蕨 <i>Cornopteris opaca</i> f. <i>glabrescens</i> Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
滇南角蕨 <i>Cornopteris pseudofluvialis</i> Ching & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
全缘网蕨 <i>Dictyodroma formosanum</i> (Rosenst.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
海南网蕨 <i>Dictyodroma hainanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
网蕨 <i>Dictyodroma heterophlebium</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
云南网蕨 <i>Dictyodroma yunnanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
白沙双盖蕨 <i>Diplazium basahense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
厚叶双盖蕨 <i>Diplazium crassiusculum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
双盖蕨 <i>Diplazium donianum</i> (Mett.) Tardieu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
隐脉双盖蕨 <i>Diplazium donianum</i> var. <i>aphanoneuron</i> (Ohwi) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
顶羽裂双盖蕨 <i>Diplazium donianum</i> var. <i>lobatum</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
海南双盖蕨 <i>Diplazium hainanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
马鞍山双盖蕨 <i>Diplazium maonense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
薄叶双盖蕨 <i>Diplazium pinfaense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
锯齿双盖蕨 <i>Diplazium serratifolium</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大叶双盖蕨 <i>Diplazium splendens</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
狭鳞双盖蕨 <i>Diplazium stenolepis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
介蕨 <i>Dryoathyrium boryanum</i> (Willd.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
中华介蕨 <i>Dryoathyrium chinense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
狭甘介蕨 <i>Dryoathyrium confusum</i> Ching & Y. P. Hsu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
朝鲜半岛介蕨 <i>Dryoathyrium coreanum</i> (Christ) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
无齿介蕨 <i>Dryoathyrium edentulum</i> (Kunze) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
鄂西介蕨 <i>Dryoathyrium henryi</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
华中介蕨 <i>Dryoathyrium okuboanum</i> (Makino) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
翅轴介蕨 <i>Dryoathyrium pterorachis</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
刺毛介蕨 <i>Dryoathyrium setigerum</i> Ching ex Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
川东介蕨 <i>Dryoathyrium stenopteron</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
峨眉介蕨 <i>Dryoathyrium unifurcatum</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
绿叶介蕨 <i>Dryoathyrium viridifrons</i> (Makino) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
尖片蛾眉蕨 <i>Lunathyrium acutum</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
巴嘎蛾眉蕨 <i>Lunathyrium acutum</i> var. <i>bagaense</i> (Ching & S. K. Wu) Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
六巴蛾眉蕨 <i>Lunathyrium acutum</i> var. <i>liubaense</i> (Z. R. Wang) Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大耳蛾眉蕨 <i>Lunathyrium auriculatum</i> W. M. Chu & Z. R. Wang ex Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
短羽蛾眉蕨 <i>Lunathyrium brevipinnum</i> Ching & K. H. Shing ex Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
昆明蛾眉蕨 <i>Lunathyrium dolosum</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
棒孢蛾眉蕨 <i>Lunathyrium emeiense</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
陕西蛾眉蕨 <i>Lunathyrium giraldii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛轴蛾眉蕨 <i>Lunathyrium hirtirachis</i> Ching ex Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
康县蛾眉蕨 <i>Lunathyrium kanghsienense</i> Ching & Y. P. Hsu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
凉山蛾眉蕨 <i>Lunathyrium liangshanense</i> Ching ex Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
绢毛蛾眉蕨 <i>Lunathyrium liangshanense</i> var. <i>sericeum</i> Ching & Z. R. Wang ex Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
泸定蛾眉蕨 <i>Lunathyrium ludingense</i> Z. R. Wang & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
墨脱蛾眉蕨 <i>Lunathyrium medogense</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
粒腺蛾眉蕨 <i>Lunathyrium medogense</i> var. <i>glanduliferum</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
南川蛾眉蕨 <i>Lunathyrium nanchuanense</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
东亚蛾眉蕨 <i>Lunathyrium orientale</i> Z. R. Wang & J. J. Chien ex J. J. Chien	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
黄山蛾眉蕨 <i>Lunathyrium orientale</i> var. <i>huangshanense</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
九龙蛾眉蕨 <i>Lunathyrium orientale</i> var. <i>jiulongense</i> (Ching) Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
东北蛾眉蕨 <i>Lunathyrium pycnosorum</i> (Christ) Koidz.	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长齿蛾眉蕨 <i>Lunathyrium pycnosorum</i> var. <i>longidens</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
华中蛾眉蕨 <i>Lunathyrium shennongense</i> Ching, Boufford & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
四川蛾眉蕨 <i>Lunathyrium sichuanense</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
金佛山蛾眉蕨 <i>Lunathyrium sichuanense</i> var. <i>jinfoshanense</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
锡金蛾眉蕨 <i>Lunathyrium sikkimense</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
河北蛾眉蕨 <i>Lunathyrium vegetius</i> (Kitagawa) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
密云蛾眉蕨 <i>Lunathyrium vegetius</i> var. <i>miyunense</i> Ching & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
壳盖蛾眉蕨 <i>Lunathyrium vegetius</i> var. <i>turgidum</i> Ching & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
湖北蛾眉蕨 <i>Lunathyrium vermiforme</i> Ching, Boufford & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
峨山蛾眉蕨 <i>Lunathyrium wilsonii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
哈巴蛾眉蕨 <i>Lunathyrium wilsonii</i> var. <i>habaense</i> Ching & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
锐裂蛾眉蕨 <i>Lunathyrium wilsonii</i> var. <i>incisoserratum</i> Ching & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大蛾眉蕨 <i>Lunathyrium wilsonii</i> var. <i>maximum</i> Ching & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
木里蛾眉蕨 <i>Lunathyrium wilsonii</i> var. <i>muliense</i> Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
鼎湖山毛轴线盖蕨 <i>Monomelangium dinghushanicum</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
毛轴线盖蕨 <i>Monomelangium pullingeri</i> (Baker) Tagawa	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大围山毛轴线盖蕨 <i>Monomelangium pullingeri</i> var. <i>daweishanicolum</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
单叶双盖蕨 <i>Neotriblemma lancea</i> (Thunb.) Nakaike	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大叶假冷蕨 <i>Pseudocystopteris atkinsonii</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
阿墩子假冷蕨 <i>Pseudocystopteris atuntzeensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
大卫假冷蕨 <i>Pseudocystopteris davidii</i> (Franch.) Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
长根假冷蕨 <i>Pseudocystopteris repens</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
睫毛盖假冷蕨 <i>Pseudocystopteris schizochlamys</i> Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
假冷蕨 <i>Pseudocystopteris spinulosa</i> (Maxim.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
三角叶假冷蕨 <i>Pseudocystopteris subtriangularis</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	蹄盖蕨科 Athyriaceae	蹄盖蕨科 Athyriaceae
荚果蕨 <i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tadaro	单裂缝 Monolete	球子蕨科 Onocleaceae	球子蕨科 Onocleaceae
球子蕨 <i>Onoclea sensibilis</i> var. <i>interrupta</i> Maxim.	单裂缝 Monolete	球子蕨科 Onocleaceae	球子蕨科 Onocleaceae
中华东方荚果蕨 <i>Pentarhizidium intermedium</i> (C. Chr.) Hayata	单裂缝 Monolete	球子蕨科 Onocleaceae	球子蕨科 Onocleaceae
东方荚果蕨 <i>Pentarhizidium orientalis</i> (Hook.) Hyata.	单裂缝 Monolete	球子蕨科 Onocleaceae	球子蕨科 Onocleaceae
光叶藤蕨 <i>Stenochlaena palustris</i> (Burm. f.) Bedd.	单裂缝 Monolete	光叶藤蕨科 Stenochlaenaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
乌木蕨 <i>Blechnidium melanopus</i> (Hook.) T. Moore	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i> L.	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
苏铁蕨 <i>Brainea insignis</i> (Hook.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
崇澍蕨 <i>Chieniopteris harlandii</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
裂羽崇澍蕨 <i>Chieniopteris kempii</i> (Copel.) Ching	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
扫把蕨 <i>Diploblechnum fraseri</i> (A. Cunn.) De Vol	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
荚囊蕨 <i>Struthiopteris eburnea</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
宽叶荚囊蕨 <i>Struthiopteris hancockii</i> (Hance) Tagawa	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i> (L. f.) Sm.	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
滇南狗脊蕨 <i>Woodwardia magnifica</i> Ching & P. S. Chiu	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
东方狗脊蕨 <i>Woodwardia orientalis</i> Sw.	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
台湾狗脊蕨 <i>Woodwardia orientalis</i> var. <i>formosana</i> Rosenst.	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae
顶芽狗脊蕨 <i>Woodwardia unigemmata</i> (Makino) Nakai	单裂缝 Monolete	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨科 Blechnaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
肿足蕨 <i>Hypodematium crenatum</i> (Forsk.) Kuhn	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
稻城肿足蕨 <i>Hypodematium daochengense</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
福氏肿足蕨 <i>Hypodematium fordii</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
无毛肿足蕨 <i>Hypodematium glabrum</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
球腺肿足蕨 <i>Hypodematium glandulosopilosum</i> (Tagawa) Ohwi	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
腺毛肿足蕨 <i>Hypodematium glandulosum</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
修株肿足蕨 <i>Hypodematium gracile</i> Ching	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
光轴肿足蕨 <i>Hypodematium hirsutum</i> (D. Don) Ching	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
山东肿足蕨 <i>Hypodematium sinense</i> K. Iwats.	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
鳞毛肿足蕨 <i>Hypodematium squamulosopilosum</i> Ching	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
台湾肿足蕨 <i>Hypodematium taiwanensis</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	肿足蕨科 Hypodematiaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
大膜盖蕨 <i>Leucostegia immersa</i> C. Presl	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	肿足蕨科 Hypodematiaceae
锡金假鳞毛蕨 <i>Lastrea elwesii</i> (Hook. & Baker) Bedd.	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
亚洲假鳞毛蕨 <i>Lastrea quelpaertensis</i> (Christ) Copel.	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
毛枝蕨 <i>Leptorumohra miqueliana</i> (Maxim. ex Franch. & Sav.) H. It?	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
四回毛枝蕨 <i>Leptorumohra quadripinnata</i> (Hayata) H. Ito	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
无鳞毛枝蕨 <i>Leptorumohra sinomiqueliana</i> (Ching) Tagawa	单裂缝 Monolete	金星蕨科 Thelypteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
鱼鳞蕨 <i>Acrophorus paleolatus</i> Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
小叶红腺蕨 <i>Diacalpe adscendens</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
圆头红腺蕨 <i>Diacalpe annamensis</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
红腺蕨 <i>Diacalpe aspidioides</i> Blume	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
西藏红腺蕨 <i>Diacalpe aspidioides</i> var. <i>hookeriana</i> (T. Moore) Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
旱生红腺蕨 <i>Diacalpe aspidioides</i> var. <i>minor</i> Ching ex S. H. Wu	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大囊红腺蕨 <i>Diacalpe chinensis</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
离轴红腺蕨 <i>Diacalpe christensenae</i> Ching	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
光轴红腺蕨 <i>Diacalpe laevigata</i> Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
峨眉红腺蕨 <i>Diacalpe omeiensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
柄盖蕨 <i>Peranema cyatheoides</i> D. Don	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
东亚柄盖蕨 <i>Peranema cyatheoides</i> var. <i>luzonicum</i> (Copel.) Ching & S. H. Wu	单裂缝 Monolete	球盖蕨科 Peranemaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
弯柄假复叶耳蕨 <i>Acrorumohra diffracta</i> (Baker) H. Ito	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
川滇假复叶耳蕨 <i>Acrorumohra dissecta</i> Ching ex Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
草质假复叶耳蕨 <i>Acrorumohra hasseltii</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
微弯假复叶耳蕨 <i>Acrorumohra subreflexipinna</i> (M. Ogata) H. Ito	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
衷牢山复叶耳蕨 <i>Arachniodes ailaoshanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多羽复叶耳蕨 <i>Arachniodes amoena</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
安顺复叶耳蕨 <i>Arachniodes anshunensis</i> Ching & Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多芒复叶耳蕨 <i>Arachniodes aristatissima</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
西南复叶耳蕨 <i>Arachniodes assamica</i> (Kuhn) Ohwi	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
狭长复叶耳蕨 <i>Arachniodes attenuata</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尾叶复叶耳蕨 <i>Arachniodes caudata</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
大片复叶耳蕨 <i>Arachniodes cavalerii</i> (Christ) Ohwi	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中华复叶耳蕨 <i>Arachniodes chinensis</i> (Rosenst.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
细裂复叶耳蕨 <i>Arachniodes coniifolia</i> (T. Moore) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
五回复叶耳蕨 <i>Arachniodes decomposita</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
二型复叶耳蕨 <i>Arachniodes dimorphophylla</i> (Hayata) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刺头复叶耳蕨 <i>Arachniodes exilis</i> (Hance) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
国楣复叶耳蕨 <i>Arachniodes fengii</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
华南复叶耳蕨 <i>Arachniodes festina</i> (Hance) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
福建复叶耳蕨 <i>Arachniodes fujianensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
高大复叶耳蕨 <i>Arachniodes gigantea</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
台湾复叶耳蕨 <i>Arachniodes globisora</i> (Hayata) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
渐尖复叶耳蕨 <i>Arachniodes gradata</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗裂复叶耳蕨 <i>Arachniodes grossa</i> (Tardieu & C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
海南复叶耳蕨 <i>Arachniodes hainanensis</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假斜方复叶耳蕨 <i>Arachniodes hekiana</i> Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南复叶耳蕨 <i>Arachniodes henryi</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
花坪复叶耳蕨 <i>Arachniodes huapingensis</i> Ching & P. S. Chiu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
湖南复叶耳蕨 <i>Arachniodes hunanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
壶坪山复叶耳蕨 <i>Arachniodes hupingshanensis</i> S. F. Wu in W. T. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宜兴复叶耳蕨 <i>Arachniodes ishingensis</i> Ching & Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
江西复叶耳蕨 <i>Arachniodes jiangxiensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
金平复叶耳蕨 <i>Arachniodes jinpingensis</i> Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
披针复叶耳蕨 <i>Arachniodes lanceolata</i> Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
溧阳复叶耳蕨 <i>Arachniodes liyangensis</i> Ching & Y. C. Lan	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长羽复叶耳蕨 <i>Arachniodes longipinna</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
庐山复叶耳蕨 <i>Arachniodes lushanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
昂山复叶耳蕨 <i>Arachniodes maoshanensis</i> Ching & P. S. Chiu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
湘黔复叶耳蕨 <i>Arachniodes michelii</i> (H. L. ǎ.) Ching ex Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
南川复叶耳蕨 <i>Arachniodes nanchuanensis</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
南靖复叶耳蕨 <i>Arachniodes nanjingensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑鳞复叶耳蕨 <i>Arachniodes nigrospinosa</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
日本复叶耳蕨 <i>Arachniodes nipponica</i> (Rosenst.) Ohwi	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假西南复叶耳蕨 <i>Arachniodes pseudo-assamica</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
似斜方复叶耳蕨 <i>Arachniodes pseudohekiiana</i> Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假长羽复叶耳蕨 <i>Arachniodes pseudolongipinna</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
缩羽复叶耳蕨 <i>Arachniodes reducta</i> Y. T. Hsieh & Y. P. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
斜方复叶耳蕨 <i>Arachniodes rhomboidea</i> (Wall. ex Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
屋久复叶耳蕨 <i>Arachniodes rhomboidea</i> var. <i>yakusimensis</i> (H. Ito) W. C. Shieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长刺复叶耳蕨 <i>Arachniodes setifera</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
异羽复叶耳蕨 <i>Arachniodes simplicior</i> (Makino) Ohwi	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
华西复叶耳蕨 <i>Arachniodes simulans</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
中华斜方复叶耳蕨 <i>Arachniodes sinoromboidea</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
美丽复叶耳蕨 <i>Arachniodes speciosa</i> (D. Don) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
清秀复叶耳蕨 <i>Arachniodes spectabilis</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
华东复叶耳蕨 <i>Arachniodes sporadosora</i> (Kunze) Nakaike	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
天童复叶耳蕨 <i>Arachniodes tiendongensis</i> Ching & C. F. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中越复叶耳蕨 <i>Arachniodes tonkinensis</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
武陵山复叶耳蕨 <i>Arachniodes wulingshanensis</i> S. F. Wu in W. T. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
雁荡山复叶耳蕨 <i>Arachniodes yandangshanensis</i> Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
印江复叶耳蕨 <i>Arachniodes yinjiangensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
东洋复叶耳蕨 <i>Arachniodes yoshinagae</i> (Makino) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
紫云山复叶耳蕨 <i>Arachniodes ziyunshanensis</i> Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
拟贯众 <i>Cyclopeltis crenata</i> (Fé) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
离脉柳叶蕨 <i>Cyrtogonellum caducum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
柳叶蕨 <i>Cyrtogonellum fraxinellum</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
斜基柳叶蕨 <i>Cyrtogonellum inaequalis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
石生柳叶蕨 <i>Cyrtogonellum × rupicola</i> P. S. Wang & X. Y. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
西畴柳叶蕨 <i>Cyrtogonellum xichouense</i> S. K. Wu & Mitsuta	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
单叶鞭叶蕨 <i>Cyrtomidictyum basipinnatum</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
卵状鞭叶蕨 <i>Cyrtomidictyum conjunctum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
鞭叶蕨 <i>Cyrtomidictyum lepidocaulon</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
等基贯众 <i>Cyrtomium aequibasis</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
镰羽贯众 <i>Cyrtomium balansae</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
无齿镰羽贯众 <i>Cyrtomium balansae</i> f. <i>edentatum</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刺齿贯众 <i>Cyrtomium caryotideum</i> (Wall. ex Hook. & Grev.) C. Presl	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗齿贯众 <i>Cyrtomium caryotideum</i> f. <i>grossedentatum</i> Ching ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
秦氏贯众 <i>Cyrtomium chingianum</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
福建贯众 <i>Cyrtomium conforme</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
全缘贯众 <i>Cyrtomium falcatum</i> (L. f.) C. Presl	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i> J. Sm.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宽羽贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i> f. <i>latipinnum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多羽贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i> f. <i>polypterum</i> (Diels) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
惠水贯众 <i>Cyrtomium grossum</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
贵州贯众 <i>Cyrtomium guizhouense</i> H. S. Kung & P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
单叶贯众 <i>Cyrtomium hemionitis</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖羽贯众 <i>Cyrtomium hookerianum</i> (C. Presl) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宽镰贯众 <i>Cyrtomium latifalcatum</i> S. K. Wu & Mitsuta	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
小羽贯众 <i>Cyrtomium lonchitoides</i> (Christ) Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大叶贯众 <i>Cyrtomium macrophyllum</i> (Makino) Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
膜叶贯众 <i>Cyrtomium membranifolium</i> Ching & K. H. Shing ex	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
H. S. Kung			
维西贯众 <i>Cyrtomium neocaryotideum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
低头贯众 <i>Cyrtomium nephrolepioides</i> (Christ) Copel.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
显脉贯众 <i>Cyrtomium nervosum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
斜基贯众 <i>Cyrtomium obliquum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
峨眉贯众 <i>Cyrtomium omeiense</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
厚叶贯众 <i>Cyrtomium pachyphyllum</i> (Rosenst.) C. Chr	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
鳞毛贯众 <i>Cyrtomium retrosopaleaceum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖齿贯众 <i>Cyrtomium serratum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
山东贯众 <i>Cyrtomium shandongense</i> J. X. Li	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
邢氏贯众 <i>Cyrtomium shingianum</i> H. S. Kung & P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
新宁贯众 <i>Cyrtomium sinningense</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
台湾贯众 <i>Cyrtomium taiwanense</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
世纬贯众 <i>Cyrtomium tengii</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
斜方贯众 <i>Cyrtomium trapezoideum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
齿盖贯众 <i>Cyrtomium tukusicola</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
单行贯众 <i>Cyrtomium uniseriale</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
线羽贯众 <i>Cyrtomium urophyllum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
武陵贯众 <i>Cyrtomium wulingense</i> S. F. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阔羽贯众 <i>Cyrtomium yamamotoi</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗齿阔羽贯众 <i>Cyrtomium yamamotoi</i> var. <i>intermedium</i> (Diels) Ching & K. H. Shing ex K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
云南贯众 <i>Cyrtomium yunnanense</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖齿鳞毛蕨 <i>Dryopteris acutodentata</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多雄拉鳞毛蕨 <i>Dryopteris alpestris</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
高山金冠鳞毛蕨 <i>Dryopteris alpicola</i> Ching & Z. R. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑水鳞毛蕨 <i>Dryopteris amurensis</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
狭叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris angustifrons</i> (Hook.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阿萨姆鳞毛蕨 <i>Dryopteris assamensis</i> (C. Hope) C. Chr. & Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
暗鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris atrata</i> (Kunze) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris barbigera</i> (T. Moore & Hook.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
两色鳞毛蕨 <i>Dryopteris bissetiana</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
西域鳞毛蕨 <i>Dryopteris blanfordii</i> (C. C. Hope) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑鳞西域鳞毛蕨 <i>Dryopteris blanfordii</i> ssp. <i>nigrosquamosa</i> (Ching) Fraser-Jenkins	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
太平鳞毛蕨 <i>Dryopteris bodinieri</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假边果鳞毛蕨 <i>Dryopteris caroli-hopei</i> Fraser-Jenk.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刺叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H. P. Fuchs	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阔鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris championii</i> (Benth.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中华鳞毛蕨 <i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
金冠鳞毛蕨 <i>Dryopteris chrysocoma</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密鳞金冠鳞毛蕨 <i>Dryopteris chrysocoma</i> var. <i>squamosa</i> (C. Chr) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
二型鳞毛蕨 <i>Dryopteris cochleata</i> (Buch.-Ham. ex D. Don) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
混淆鳞毛蕨 <i>Dryopteris commixta</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
连合鳞毛蕨 <i>Dryopteris conjugata</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
东北亚鳞毛蕨 <i>Dryopteris coreanomontana</i> Nakai	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近中肋鳞毛蕨 <i>Dryopteris costalisora</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗茎鳞毛蕨 <i>Dryopteris crassirhizoma</i> Nakai	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
桫欏鳞毛蕨 <i>Dryopteris cycadina</i> (Franch. & Sav.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
弯羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris cyclopeltidiformis</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
道真鳞毛蕨 <i>Dryopteris daozenensis</i> P. S. Wang & X. Y. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
迷人鳞毛蕨 <i>Dryopteris decipiens</i> (Hook.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
深裂迷人鳞毛蕨 <i>Dryopteris decipiens</i> var. <i>diplazioides</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
德化鳞毛蕨 <i>Dryopteris dehuaensis</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
远轴鳞毛蕨 <i>Dryopteris dickinsii</i> (Franch. & Sav.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宜昌鳞毛蕨 <i>Dryopteris enneaphylla</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大宜昌鳞毛蕨 <i>Dryopteris enneaphylla</i> var. <i>pseudosieboldii</i> (Hayata) Tagawa & K. Iwats	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
红盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris erythrosora</i> (A. A. Eaton) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
广布鳞毛蕨 <i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近纤维鳞毛蕨 <i>Dryopteris fibrillosissima</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
欧洲鳞毛蕨 <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
台湾鳞毛蕨 <i>Dryopteris formosana</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
香鳞毛蕨 <i>Dryopteris fragrans</i> (L.) Schott	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
硬果鳞毛蕨 <i>Dryopteris fructuosa</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
华北鳞毛蕨 <i>Dryopteris goeringiana</i> (Kunze) Koidz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
广西鳞毛蕨 <i>Dryopteris guangxiensis</i> S. G. Lu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
裸叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris gymnohylla</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
裸果鳞毛蕨 <i>Dryopteris gymnosora</i> (Makino) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
哈巴鳞毛蕨 <i>Dryopteris habaensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
边生鳞毛蕨 <i>Dryopteris handeliana</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
杭州鳞毛蕨 <i>Dryopteris hangchowensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
赫章鳞毛蕨 <i>Dryopteris hezhangensis</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
木里鳞毛蕨 <i>Dryopteris himachalensis</i> Fraser-Jenk.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
乌鳞毛蕨 <i>Dryopteris hirtipes</i> (Blume) O. Ktze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
桃花岛鳞毛蕨 <i>Dryopteris hondoensis</i> Koidz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假异鳞毛蕨 <i>Dryopteris immixta</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
深裂鳞毛蕨 <i>Dryopteris incislobata</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
平行鳞毛蕨 <i>Dryopteris indusiata</i> (Makino) Yamamoto	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
羽裂鳞毛蕨 <i>Dryopteris integriloba</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗齿鳞毛蕨 <i>Dryopteris juxtaposita</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
京鹤鳞毛蕨 <i>Dryopteris kinkiensis</i> Koidz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近多鳞毛蕨 <i>Dryopteris komarovii</i> Kosshinsky	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
齿头鳞毛蕨 <i>Dryopteris labordei</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
狭顶鳞毛蕨 <i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
脉纹鳞毛蕨 <i>Dryopteris lachoongensis</i> (Bedd.) Nayar & Kaur	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阔基鳞毛蕨 <i>Dryopteris latibasis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris lepidopoda</i> Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
轴鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris lepidorachis</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
两广鳞毛蕨 <i>Dryopteris liankwangensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
路南鳞毛蕨 <i>Dryopteris lunanensis</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
边果鳞毛蕨 <i>Dryopteris marginata</i> (C. B. Clarke) Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
细鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris microlepis</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
山地鳞毛蕨 <i>Dryopteris monticola</i> (Makino) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
丽江鳞毛蕨 <i>Dryopteris montigena</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑鳞远轴鳞毛蕨 <i>Dryopteris namegatae</i> (Sa. Kurata) Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近黑鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris neolepidopoda</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近川西鳞毛蕨 <i>Dryopteris neorosthornii</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
优雅鳞毛蕨 <i>Dryopteris nobilis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
冯氏鳞毛蕨 <i>Dryopteris nobilis</i> var. <i>fengiana</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
林芝鳞毛蕨 <i>Dryopteris nyingchiensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
太平鳞毛蕨 <i>Dryopteris pacifica</i> (Nakai) Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大果鳞毛蕨 <i>Dryopteris panda</i> (C. B. Clarke) Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假路南鳞毛蕨 <i>Dryopteris paralunanensis</i> W. M. Chu ex S. G.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
Lu			

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
半岛鳞毛蕨 <i>Dryopteris peninsulae</i> Kitag.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
柄叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris podophylla</i> (Hook.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
蓝色鳞毛蕨 <i>Dryopteris polita</i> Rosenst.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
微孔鳞毛蕨 <i>Dryopteris porosa</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假稀羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris pseudosparsa</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
凸背鳞毛蕨 <i>Dryopteris pseudovaria</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
蕨状鳞毛蕨 <i>Dryopteris pteridiiformis</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
豫陕鳞毛蕨 <i>Dryopteris pulcherrima</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
肿足鳞毛蕨 <i>Dryopteris pulvinulifera</i> (Bedd.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris pycnopteroides</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
藏布鳞毛蕨 <i>Dryopteris redactopinnata</i> S. K. Basu & Panigr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
倒鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris reflexosquamata</i> Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
川西鳞毛蕨 <i>Dryopteris rosthornii</i> (Diels) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
红褐鳞毛蕨 <i>Dryopteris rubrobrunnea</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宽羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris ryo-itoana</i> Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
棕边鳞毛蕨 <i>Dryopteris sacrosancta</i> Koidz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
虎耳鳞毛蕨 <i>Dryopteris saxifraga</i> H. Ito	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
无盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris scottii</i> (Bedd.) Ching ex C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
腺毛鳞毛蕨 <i>Dryopteris sericea</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刺尖鳞毛蕨 <i>Dryopteris serrato-dentata</i> (Bedd.) Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
奇羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris sieboldii</i> (van Houtte ex Mett.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
锡金鳞毛蕨 <i>Dryopteris sikkimensis</i> (Hook.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
高鳞毛蕨 <i>Dryopteris simasakii</i> (H. Ito) Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密鳞高鳞毛蕨 <i>Dryopteris simasakii</i> var. <i>paleacea</i> (H. Ito) Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
纤维鳞毛蕨 <i>Dryopteris sinofibrillosa</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
落鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris sordidipes</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
稀羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris sparsa</i> (Buch.-Ham. ex D. Don) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
光亮鳞毛蕨 <i>Dryopteris splendens</i> (Hook.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
褐鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris squamifera</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
狭鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris stenolepis</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
细叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris subatrata</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
裂盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris subexaltata</i> (Christ) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
柳羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris subimpressa</i> Loyal	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
半育鳞毛蕨 <i>Dryopteris sublacera</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
无柄鳞毛蕨 <i>Dryopteris submarginata</i> Rosenst.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近密鳞毛蕨 <i>Dryopteris subpycnopteroides</i> Ching ex Fraser-Jenk.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
三角鳞毛蕨 <i>Dryopteris subtriangularis</i> (C. Hope) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大明鳞毛蕨 <i>Dryopteris tahmingensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
华南鳞毛蕨 <i>Dryopteris tenuicula</i> Matthew & Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
落叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris tenuipes</i> (Rosenst.) Seriz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
陇蜀鳞毛蕨 <i>Dryopteris thibetica</i> (Franch.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
定结鳞毛蕨 <i>Dryopteris tingiensis</i> Ching & S. K. Wu ex	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Fraser-Jenk.			
东京鳞毛蕨 <i>Dryopteris tokyoensis</i> (Matsum. ex Makino) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
裂羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris toyamae</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
观光鳞毛蕨 <i>Dryopteris tsoongii</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
同形鳞毛蕨 <i>Dryopteris uniformis</i> (Makino) Makino	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
变异鳞毛蕨 <i>Dryopteris varia</i> (L.) Kuntze	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris wallichiana</i> (Spreng.) Hylander	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
贵州鳞毛蕨 <i>Dryopteris wallichiana</i> var. <i>kweichowicola</i> (Ching & P. S. Wang) S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黄山鳞毛蕨 <i>Dryopteris whangshangensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
细叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris woodsii</i> Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
武夷山鳞毛蕨 <i>Dryopteris wuyishanica</i> Ching & P. S. Chiu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
寻乌鳞毛蕨 <i>Dryopteris xunwuensis</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
南平鳞毛蕨 <i>Dryopteris yenpingensis</i> C. Chr. & Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
易贡鳞毛蕨 <i>Dryopteris yigongensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
永德鳞毛蕨 <i>Dryopteris yongdeensis</i> W. M. Chu ex S. G. Lu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
栗柄鳞毛蕨 <i>Dryopteris yoroii</i> Seriz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
永自鳞毛蕨 <i>Dryopteris yungtzeensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
贞丰鳞毛蕨 <i>Dryopteris zhenfengensis</i> P. S. Wang & X. Y. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
石盖蕨 <i>Lithostegia foeniculacea</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
棕鳞肉刺蕨 <i>Nothoperanema diacalpioides</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大叶肉刺蕨 <i>Nothoperanema giganteum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
有盖肉刺蕨 <i>Nothoperanema hendersonii</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
无盖肉刺蕨 <i>Nothoperanema shikokianum</i> (Makino) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
肉刺蕨 <i>Nothoperanema squamisetum</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗齿黔蕨 <i>Phanerophlebiopsis blinii</i> (H. L. é.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
湖南黔蕨 <i>Phanerophlebiopsis hunanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中间黔蕨 <i>Phanerophlebiopsis intermedia</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长叶黔蕨 <i>Phanerophlebiopsis neopodophylla</i> (Ching) Ching & Y. T. Hsieh	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黔蕨 <i>Phanerophlebiopsis tsiangiana</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刺叶耳蕨 <i>Polystichum acanthophyllum</i> (Franch.) Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
欧洲耳蕨 <i>Polystichum aculeatum</i> (L.) Roth	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖齿耳蕨 <i>Polystichum acutidens</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖头耳蕨 <i>Polystichum acutipinnulum</i> Ching & Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阿当耳蕨 <i>Polystichum adungense</i> Ching & Fraser-Jenk. ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
角状耳蕨 <i>Polystichum alcicorne</i> (Baker) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
高大耳蕨 <i>Polystichum altum</i> Ching ex L. B. Zhang & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
灰绿耳蕨 <i>Polystichum anomalum</i> (Hook. ex Arn.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
节毛耳蕨 <i>Polystichum articulatiloposum</i> H. G. Zhou & Hua Li	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
上斜刀羽耳蕨 <i>Polystichum assurgentipinnum</i> W. M. Chu & B. Y. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
小狭叶芽胞耳蕨 <i>Polystichum atkinsonii</i> Bedd.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长羽芽胞耳蕨 <i>Polystichum attenuatum</i> Tagawa & K. Iwat.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
滇东南耳蕨 <i>Polystichum auriculum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
薄叶耳蕨 <i>Polystichum bakerianum</i> (Atkin. ex Baker) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宝兴耳蕨 <i>Polystichum baoxingense</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
二尖耳蕨 <i>Polystichum biaristatum</i> (Blume) T. Moore	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
钳形耳蕨 <i>Polystichum bifidum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
双胞胎耳蕨 <i>Polystichum bigemmatum</i> Ching ex L. L. Xiang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
川渝耳蕨 <i>Polystichum bissectum</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
波密耳蕨 <i>Polystichum bomiense</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
喜马拉雅耳蕨 <i>Polystichum brachypterum</i> (Kuntze) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
布郎耳蕨 <i>Polystichum braunii</i> (Spenn.) Fée	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
基芽耳蕨 <i>Polystichum capillipes</i> (Baker) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
栗鳞耳蕨 <i>Polystichum castaneum</i> (C. B. Clarke) Nayar & Kaur	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
滇耳蕨 <i>Polystichum chingae</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
拟角状耳蕨 <i>Polystichum christii</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
陈氏耳蕨 <i>Polystichum chunii</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
涪陵耳蕨 <i>Polystichum consimile</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
轴果耳蕨 <i>Polystichum costularisorum</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
鞭叶耳蕨 <i>Polystichum craspedosorum</i> (Maxim.) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗脉耳蕨 <i>Polystichum crassinervium</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
毛发耳蕨 <i>Polystichum crinigerum</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
楔基耳蕨 <i>Polystichum cuneatiforme</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
圆片耳蕨 <i>Polystichum cyclolobum</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大关耳蕨 <i>Polystichum daguanense</i> Ching ex L. L. Xiang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
花山耳蕨 <i>Polystichum daguanense</i> var. <i>huashanicola</i> W.M.Chu & Z.R.He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
成忠耳蕨 <i>Polystichum dangii</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
洱源耳蕨 <i>Polystichum delavayi</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
对生耳蕨 <i>Polystichum deltodon</i> (Baker) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刀羽耳蕨 <i>Polystichum deltodon</i> var. <i>cultripinnum</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
钝齿耳蕨 <i>Polystichum deltodon</i> var. <i>henryi</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
圆顶耳蕨 <i>Polystichum dielsii</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
铺散耳蕨 <i>Polystichum diffundens</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
分离耳蕨 <i>Polystichum discretum</i> (D. Don) J. Sm	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
疏羽耳蕨 <i>Polystichum disjunctum</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
杜氏耳蕨 <i>Polystichum duthiei</i> (C. Hope) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
凸脉耳蕨 <i>Polystichum elevatovenusum</i> Ching ex W. M. Chu &	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Z. R. He			
蚀盖耳蕨 <i>Polystichum erosum</i> Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
缺耳耳蕨 <i>Polystichum exauriforme</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖顶耳蕨 <i>Polystichum excellens</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
杰出耳蕨 <i>Polystichum excelsius</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
瓦鳞耳蕨 <i>Polystichum fimbriatum</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
台湾耳蕨 <i>Polystichum formosanum</i> Rosenst.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
寒生耳蕨 <i>Polystichum frigidicola</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
福贡耳蕨 <i>Polystichum fugongense</i> Ching & W. M. Chu ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
工布耳蕨 <i>Polystichum gongboense</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大叶耳蕨 <i>Polystichum grandifrons</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
广西耳蕨 <i>Polystichum guangxiense</i> W. M. Chu & H. G. Zhou	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
无盖耳蕨 <i>Polystichum gymnocarpium</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
哈巴耳蕨 <i>Polystichum habaense</i> Ching et H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
小戟叶耳蕨 <i>Polystichum hancockii</i> (Hance) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
芒齿耳蕨 <i>Polystichum hecatopterum</i> Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
草叶耳蕨 <i>Polystichum herbaceum</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
猴场耳蕨 <i>Polystichum houchangense</i> Ching ex P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
川西耳蕨 <i>Polystichum huae</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宜昌耳蕨 <i>Polystichum ichangense</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
小耳蕨 <i>Polystichum inaense</i> (Tagawa) Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
深裂耳蕨 <i>Polystichum incisopinnulum</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
贡山耳蕨 <i>Polystichum integrilimbium</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
钝裂耳蕨 <i>Polystichum integrilobum</i> (Ching ex Y. T. Hsieh et Na Li) W. M. Chu ex H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
金佛山耳蕨 <i>Polystichum jinfoshanense</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
九老洞耳蕨 <i>Polystichum jiulaodongense</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
鸡足山耳蕨 <i>Polystichum jizhushanense</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
康定耳蕨 <i>Polystichum kangdingense</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
广东耳蕨 <i>Polystichum kwangtungense</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
拉钦耳蕨 <i>Polystichum lachenense</i> (Hook.) Bedd.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
亮叶耳蕨 <i>Polystichum lanceolatum</i> (Baker) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
浪穹耳蕨 <i>Polystichum langchungense</i> Ching ex H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宽鳞耳蕨 <i>Polystichum latilepis</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
柔软耳蕨 <i>Polystichum lentum</i> (D. Don) T. Moore	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
武陵山耳蕨 <i>Polystichum leveillei</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
正宇耳蕨 <i>Polystichum liui</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
矛状耳蕨 <i>Polystichum lonchitis</i> (L.) Roth	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长芒耳蕨 <i>Polystichum longiaristatum</i> Ching, Boufford & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尖齿耳蕨 <i>Polystichum longidens</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
长鳞耳蕨 <i>Polystichum longipaleatum</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长柄耳蕨 <i>Polystichum longipes</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长羽耳蕨 <i>Polystichum longipinnulum</i> Nair	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长刺耳蕨 <i>Polystichum longispinosum</i> Ching ex L. B. Zhang & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长叶耳蕨 <i>Polystichum longissimum</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大盖高山耳蕨 <i>Polystichum macrochlaenum</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黑鳞耳蕨 <i>Polystichum makinoi</i> (Tagawa) Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
镰叶耳蕨 <i>Polystichum manmeiense</i> (Christ) Nakaike	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黔中耳蕨 <i>Polystichum martinii</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
前原耳蕨 <i>Polystichum mayebarae</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
墨脱耳蕨 <i>Polystichum medogense</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
印西耳蕨 <i>Polystichum mehrae</i> Fraser-Jenk. & Khullar	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阔基耳蕨 <i>Polystichum mehrae</i> f. <i>latifundus</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
美姑耳蕨 <i>Polystichum meiguense</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
乌柄耳蕨 <i>Polystichum melanostipes</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
毛叶耳蕨 <i>Polystichum mollissimum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
条裂耳蕨 <i>Polystichum mollissimum</i> var. <i>laciniatum</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
玉山耳蕨 <i>Polystichum morii</i> Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
穆坪耳蕨 <i>Polystichum moupinense</i> (Franch.) Bedd.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
伴藓耳蕨 <i>Polystichum muscicola</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
纳雍耳蕨 <i>Polystichum nayongense</i> P. S. Wang & X. Y. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
新正宇耳蕨 <i>Polystichum neoliuii</i> D. S. Jiang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
革叶耳蕨 <i>Polystichum neolobatum</i> Nakai	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尼泊尔耳蕨 <i>Polystichum nepalense</i> (Spreng.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
黛鳞耳蕨 <i>Polystichum nigrum</i> Ching & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宁陕耳蕨 <i>Polystichum ningshenense</i> Ching & Y. P. Hsu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
裸果耳蕨 <i>Polystichum nudisorum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
斜羽耳蕨 <i>Polystichum obliquum</i> (D. Don) T. Moore	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
镇康耳蕨 <i>Polystichum oblongum</i> Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
疏果耳蕨 <i>Polystichum oligocarpum</i> Ching ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
峨眉耳蕨 <i>Polystichum omeiense</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假半育耳蕨 <i>Polystichum oreodoxa</i> Ching ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
藏东耳蕨 <i>Polystichum orientalitibeticum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
高山耳蕨 <i>Polystichum otophorum</i> (Franch.) Bedd.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
卵鳞耳蕨 <i>Polystichum ovato-paleaceum</i> (Kodama) Sa. Kurata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
拟穆坪耳蕨 <i>Polystichum paramoupinense</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
小羽耳蕨 <i>Polystichum parvifoliolatum</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
尖叶耳蕨 <i>Polystichum parvipinnulum</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
片马耳蕨 <i>Polystichum pianmaense</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
乌鳞耳蕨 <i>Polystichum piceo-paleaceum</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
棕鳞耳蕨 <i>Polystichum polyblepharum</i> (Roem. ex Kunze) C. Presl	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
芒刺耳蕨 <i>Polystichum prescottianum</i> (Wall. ex Mett.) T. Moore	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
锯鳞耳蕨 <i>Polystichum prionolepis</i> Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
拟栗鳞耳蕨 <i>Polystichum pseudocastaneum</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假亮叶耳蕨 <i>Polystichum pseudolanceolatum</i> Ching ex P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假黑鳞耳蕨 <i>Polystichum pseudomakinoi</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
菱羽耳蕨 <i>Polystichum pseudorhomboideum</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
假线鳞耳蕨 <i>Polystichum pseudosetosum</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
洪雅耳蕨 <i>Polystichum pseudoxiphophyllum</i> Ching ex H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中缅耳蕨 <i>Polystichum punctiferum</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密果耳蕨 <i>Polystichum pycnopterum</i> (Christ) Ching ex W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
昌都耳蕨 <i>Polystichum qamdoense</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
倒鳞耳蕨 <i>Polystichum retrosopaleaceum</i> (Kodama) Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
外卷耳蕨 <i>Polystichum revolutum</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
斜方刺叶耳蕨 <i>Polystichum rhombiforme</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阔鳞耳蕨 <i>Polystichum rigens</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗壮耳蕨 <i>Polystichum robustum</i> Ching ex L. B. Zhang & H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
红鳞耳蕨 <i>Polystichum rufopaleaceum</i> Ching ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
石生耳蕨 <i>Polystichum saxicola</i> Ching ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
半育耳蕨 <i>Polystichum semifertile</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刚毛耳蕨 <i>Polystichum setillosum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
山东耳蕨 <i>Polystichum shandongense</i> J. X. Li & Y. Wei	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
陕西耳蕨 <i>Polystichum shensiense</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
边果耳蕨 <i>Polystichum shimurae</i> Sa. Kurata ex Seriz.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
单羽耳蕨 <i>Polystichum simplicipinnum</i> Hayata	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中华耳蕨 <i>Polystichum sinense</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
裂叶耳蕨 <i>Polystichum sinense</i> var. <i>lobatum</i> H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中华对马耳蕨 <i>Polystichum sinotsus-sinense</i> Ching & Z. Y. Liu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
草山耳蕨 <i>Polystichum sozanense</i> Ching ex H. S. Kung & L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密鳞耳蕨 <i>Polystichum squarrosum</i> (D. Don) Fée	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
狭叶芽胞耳蕨 <i>Polystichum stenophyllum</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
错那耳蕨 <i>Polystichum stenophyllum</i> var. <i>conaense</i> (Ching & S. K. Wu) W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
猫儿刺耳蕨 <i>Polystichum stimulans</i> (Kunze ex Mett.) Bedd.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多羽耳蕨 <i>Polystichum subacutidens</i> Ching ex L. L. Xiang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗齿耳蕨 <i>Polystichum subdeltodon</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
拟流苏耳蕨 <i>Polystichum subfimbriatum</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
近边耳蕨 <i>Polystichum submarginale</i> (Baker) Ching ex P. S. Wang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
秦岭耳蕨 <i>Polystichum submite</i> (Christ) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
钻鳞耳蕨 <i>Polystichum subulatum</i> Ching ex L. B. Zhang	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
南亚耳蕨 <i>Polystichum taticopterum</i> (Kunze) T. Moore	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
台中耳蕨 <i>Polystichum taizhongense</i> H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
通麦耳蕨 <i>Polystichum tangmaiense</i> H. S. Kung	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
尾叶耳蕨 <i>Polystichum thomsonii</i> (J. D. Hook.) Bedd.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
西藏耳蕨 <i>Polystichum tibeticum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中越耳蕨 <i>Polystichum tonkinense</i> (Christ) W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
戟叶耳蕨 <i>Polystichum tripterum</i> (Kunze) C. Presl	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
井冈山耳蕨 <i>Polystichum tsingkanshanense</i> Ching ex K. H. Shing & J. F. Cheng	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
对马耳蕨 <i>Polystichum tsus-simense</i> (Hook.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
深裂对马耳蕨 <i>Polystichum tsus-simense</i> var. <i>dissectum</i> W. M.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Chu			
小羽对马耳蕨 <i>Polystichum tsus-simense</i> var. <i>parvipinnulum</i> W.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
M. Chu			
细裂耳蕨 <i>Polystichum wattii</i> (Bedd.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
剑叶耳蕨 <i>Polystichum xiphophyllum</i> (Baker) Diels	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
亚东耳蕨 <i>Polystichum yadongense</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
倒叶耳蕨 <i>Polystichum yuanum</i> Ching	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南耳蕨 <i>Polystichum yunnanense</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
察隅耳蕨 <i>Polystichum zayuense</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
玉龙蕨 <i>Sorolepidium glaciale</i> Christ	单裂缝 Monolete	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
多羽实蕨 <i>Bolbitis angustipinna</i> (Hayata) H. Ito	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
刺蕨 <i>Bolbitis appendiculata</i> (Willd.) K. Iwats.	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
贵州实蕨 <i>Bolbitis christensenii</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密叶实蕨 <i>Bolbitis confertifolia</i> Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
紫轴实蕨 <i>Bolbitis costata</i> (C. Presl) Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
间断实蕨 <i>Bolbitis deltigera</i> (Bedd.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
疏裂刺蕨 <i>Bolbitis fengiana</i> (Ching) S. Y. Dong	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
厚叶实蕨 <i>Bolbitis hainanensis</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
河口实蕨 <i>Bolbitis hekouensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长叶实蕨 <i>Bolbitis heteroclita</i> (C. Presl) Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
虎克实蕨 <i>Bolbitis hookeriana</i> K. Iwats.	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
长耳刺蕨 <i>Bolbitis longiaurita</i> F. G. Wang & F. W. Xing	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
墨脱刺蕨 <i>Bolbitis medogensis</i> (Ching & S. K. Wu) S. Y. Dong	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
根叶刺蕨 <i>Bolbitis rhizophylla</i> (Kaulf.) Hennipman	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
红柄实蕨 <i>Bolbitis scalpturata</i> (Fé) Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
附着实蕨 <i>Bolbitis scandens</i> W. M. Chu ex Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中华刺蕨 <i>Bolbitis sinensis</i> (Baker) K. Iwats.	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
华南实蕨 <i>Bolbitis subcordata</i> (Copel.) Ching	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
西藏实蕨 <i>Bolbitis tibetica</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
镰裂刺蕨 <i>Bolbitis tonkinensis</i> (C.Chr. ex Ching) K.Iwats.	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
宽羽实蕨 <i>Bolbitis virens</i> (Hook. & Grev.) Schott	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
网脉实蕨 <i>Bolbitis × laxireticulata</i> K. Iwats.	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南实蕨 <i>Bolbitis × multipinna</i> F. G. Wang, K. Iwats. & F. W. Xing	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
南仁实蕨 <i>Bolbitis × nanjenensis</i> C. M. Kuo	单裂缝 Monolete	实蕨科 Bolbitidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
爪哇舌蕨 <i>Elaphoglossum angulatum</i> (Blume) Moore	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
南海舌蕨 <i>Elaphoglossum callifolium</i> (Blume) Moore	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
舌蕨 <i>Elaphoglossum conforme</i> (Sw.) Schott	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
吕宋舌蕨 <i>Elaphoglossum luzonicum</i> Copel.	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
琼崖舌蕨 <i>Elaphoglossum mcclurei</i> Ching	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
圆叶舌蕨 <i>Elaphoglossum sinii</i> C. Chr. ex Wu	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南舌蕨 <i>Elaphoglossum stelligerum</i> (Wall. ex Baker) T. Moore ex Alston & Bonner	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
华南舌蕨 <i>Elaphoglossum yoshinagae</i> (Yatabe) Makino	单裂缝 Monolete	舌蕨科 Elapoglossaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
网藤蕨 <i>Lomagramma matthewii</i> (Ching) Holttum	单裂缝 Monolete	藤蕨科 Lomariopsidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
墨脱网藤蕨 <i>Lomagramma medogensis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	藤蕨科 Lomariopsidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南网藤蕨 <i>Lomagramma yunnanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	藤蕨科 Lomariopsidaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
滇桂三相蕨 <i>Ataxipteris dianguiensis</i> W. M. Chu & H. G. Zhou	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
三相蕨 <i>Ataxipteris sinii</i> (Ching) Holttum	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
海南肋毛蕨 <i>Ctenitis decurrentipinnata</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
二型肋毛蕨 <i>Ctenitis dingnanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
直鳞肋毛蕨 <i>Ctenitis eatonii</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
桂滇肋毛蕨 <i>Ctenitis guidianensis</i> H. G. Zhou & W. M. Chu	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
银毛肋毛蕨 <i>Ctenitis mannii</i> (Hope) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
虹鳞肋毛蕨 <i>Ctenitis membranifolia</i> R. C. Ching & C. H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
茂兰肋毛蕨 <i>Ctenitis molanensis</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
棕鳞肋毛蕨 <i>Ctenitis pseudorhodolepis</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
亮鳞肋毛蕨 <i>Ctenitis subglandulosa</i> (Hance) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南肋毛蕨 <i>Ctenitis yunnanensis</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
顶囊轴鳞蕨 <i>Dryopsis apiciflora</i> (Wall. ex Mett.) Holttum & Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
膜边轴鳞蕨 <i>Dryopsis clarkei</i> (Baker) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密羽轴鳞蕨 <i>Dryopsis contigua</i> (Ching) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
粗柄轴鳞蕨 <i>Dryopsis crassirachis</i> (Ching) Holttum & P. J.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
Edwards			
波边轴鳞蕨 <i>Dryopsis crenata</i> (Ching) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
独龙江轴鳞蕨 <i>Dryopsis dulongensis</i> (S. K. Wu & X. Cheng) S. Y. Dong	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
异鳞轴鳞蕨 <i>Dryopsis heterolaena</i> (C. Chr.) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
密羽轴鳞蕨 <i>Dryopsis kawakamii</i> (Hayata) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
泡鳞轴鳞蕨 <i>Dryopsis mariformis</i> (Rosenst.) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
阔鳞轴鳞蕨 <i>Dryopsis maximowicziana</i> (Miq.) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
巢形轴鳞蕨 <i>Dryopsis nidus</i> (Baker) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
怒山轴鳞蕨 <i>Dryopsis silaensis</i> (Ching) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
大鳞轴鳞蕨 <i>Dryopsis sphaeropteroides</i> (Baker) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
疏羽轴鳞蕨 <i>Dryopsis submariformis</i> (Ching & Chu H. Wang) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
台湾轴鳞蕨 <i>Dryopsis transmorrisonensis</i> (Hayata) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
截头轴鳞蕨 <i>Dryopsis truncata</i> (Ching & H. S. Kung) Holttum	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al., 2011; 张宪春等, 2013)
梵净山轴鳞蕨 <i>Dryopsis wantsingshanica</i> (Ching & Shing) Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
傅氏拟鳞毛蕨 <i>Dryopsis</i> × <i>fauriei</i> Holttum & P. J. Edwards	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
云南节毛蕨 <i>Lastreopsis microlepioides</i> (Ching) W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
海南节毛蕨 <i>Lastreopsis subrecedens</i> Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
台湾节毛蕨 <i>Lastreopsis tenera</i> (R. Brown) Tindale	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
海南符藤蕨 <i>Teratophyllum hainanense</i> S. Y. Dong & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae
中华藤蕨 <i>Lomariopsis chinensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	藤蕨科 Lomariopsidaceae	藤蕨科 Lomariopsidaceae
藤蕨 <i>Lomariopsis cochinchinensis</i> Fée	单裂缝 Monolete	藤蕨科 Lomariopsidaceae	藤蕨科 Lomariopsidaceae
美丽藤蕨 <i>Lomariopsis spectabilis</i> (Kunze) Mett.	单裂缝 Monolete	藤蕨科 Lomariopsidaceae	藤蕨科 Lomariopsidaceae
长叶肾蕨 <i>Nephrolepis biserrata</i> (Sw.) Schott	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨科 Nephrolepidaceae
耳叶肾蕨 <i>Nephrolepis biserrata</i> var. <i>auriculata</i> Ching	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨科 Nephrolepidaceae
肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i> (L.) C. Presl	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨科 Nephrolepidaceae
薄叶肾蕨 <i>Nephrolepis delicatula</i> (Decne.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨科 Nephrolepidaceae
镰叶肾蕨 <i>Nephrolepis falcata</i> (Cav.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨科 Nephrolepidaceae
毛叶肾蕨 <i>Nephrolepis hirsutula</i> (Forst.) C. Presl	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨科 Nephrolepidaceae
爬树蕨 <i>Arthropteris palisotii</i> (Desv.) Alston	单裂缝 Monolete	肾蕨科 Nephrolepidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
顶果轴脉蕨 <i>Ctenitopsis acrocarpa</i> Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
中华轴脉蕨 <i>Ctenitopsis chinensis</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
毛叶轴脉蕨 <i>Ctenitopsis devexa</i> (Kunze ex Mett.) Ching & Chu	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
H. Wang			
薄叶轴脉蕨 <i>Ctenitopsis dissecta</i> (Forst.) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
黑鳞轴脉蕨 <i>Ctenitopsis fuscipes</i> (Wall. ex Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
海南轴脉蕨 <i>Ctenitopsis hainanensis</i> Ching et Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
硕大轴脉蕨 <i>Ctenitopsis ingens</i> (Atkinson ex Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
台湾轴脉蕨 <i>Ctenitopsis kusukusensis</i> (Hayata) C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
粤北轴脉蕨 <i>Ctenitopsis matthewi</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
轴脉蕨 <i>Ctenitopsis sagenioides</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
光叶轴脉蕨 <i>Ctenitopsis sagenioides</i> var. <i>glabrescens</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
棕毛轴脉蕨 <i>Ctenitopsis setulosa</i> (Baker) C. Chr. ex Tardieu & C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
无盖轴脉蕨 <i>Ctenitopsis subsageniacea</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
蒿蕨 <i>Ctenopteris curtisii</i> (Baker) Tagawa	单裂缝 Monolete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
拟虎尾蒿蕨 <i>Ctenopteris merrittii</i> (Copel.) Tagawa	单裂缝 Monolete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
南洋蒿蕨 <i>Ctenopteris mollicoma</i> (Nees & Blume) Kunze	单裂缝 Monolete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
光滑蒿蕨 <i>Ctenopteris moultonii</i> (Copel.) C. Chr. & Tardieu	单裂缝 Monolete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
虎尾蒿蕨 <i>Ctenopteris subfalcata</i> (Blume) Kunze	单裂缝 Monolete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
细叶蒿蕨 <i>Ctenopteris tenuisecta</i> (Blume) J. Sm.	单裂缝 Monolete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	叉蕨科 Tectariaceae
沙皮蕨 <i>Hemigramma decurrens</i> (Hook.) Copel.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
台湾黄腺羽蕨 <i>Pleocnemia cumingiana</i> C. Presl	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
黄腺羽蕨 <i>Pleocnemia winitii</i> Holttum	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
毛轴牙蕨 <i>Pteridrys australis</i> Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
薄叶牙蕨 <i>Pteridrys cnemidaria</i> (Christ) C. Chr. & Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
云贵牙蕨 <i>Pteridrys lofouensis</i> (Christ) C. Chr. & Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
地耳蕨 <i>Quercifilix zeylanica</i> (Houtt.) Copel.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
大齿叉蕨 <i>Tectaria coadunata</i> (Wall. ex Hook. & Grev.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
柔毛大齿叉蕨 <i>Tectaria coadunata</i> var. <i>hirsuta</i> Holttum	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
下延叉蕨 <i>Tectaria decurrens</i> (C. Presl) Copel.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
大叶叉蕨 <i>Tectaria dubia</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
黑柄叉蕨 <i>Tectaria ebenina</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
芽胞叉蕨 <i>Tectaria fauriei</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
鳞柄叉蕨 <i>Tectaria griffithii</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
粗齿叉蕨 <i>Tectaria grossedentata</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
河口叉蕨 <i>Tectaria hekouensis</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
思茅叉蕨 <i>Tectaria herpetocaulos</i> Holttum	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
疣状叉蕨 <i>Tectaria impressa</i> (Fé) Holttum	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
贵州叉蕨 <i>Tectaria kweichowensis</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
剑叶叉蕨 <i>Tectaria leptophylla</i> (C. H. Wright) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
绿春三叉蕨 <i>Tectaria luchunensis</i> S. K. Wu	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
中形叉蕨 <i>Tectaria media</i> Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
掌状叉蕨 <i>Tectaria morsei</i> (Baker) P. J. Edwards ex S. Y. Dong	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
条裂叉蕨 <i>Tectaria phaeocaulis</i> (Rosenst.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
多形叉蕨 <i>Tectaria polymorpha</i> (Wall. ex Hook.) Copel.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
狭基叉蕨 <i>Tectaria polymorpha</i> var. <i>subcuneata</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
五裂叉蕨 <i>Tectaria quinquefida</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
疏羽叉蕨 <i>Tectaria remotipinna</i> Ching & Chu H. Wang	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
洛克叉蕨 <i>Tectaria rockii</i> C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
燕尾叉蕨 <i>Tectaria simonsii</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
中间叉蕨 <i>Tectaria simulans</i> Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
桂越三叉蕨 <i>Tectaria stenosemioides</i> (Baker) C. Chr.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
三叉蕨 <i>Tectaria subtriphylla</i> (Hook. & Arn.) Copel.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
多变叉蕨 <i>Tectaria variabilis</i> Tardieu & Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
翅柄叉蕨 <i>Tectaria vasta</i> (Blume) Copel.	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
云南叉蕨 <i>Tectaria yunnanensis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	叉蕨科 Aspidiaceae	叉蕨科 Tectariaceae
华南蓀蕨 <i>Oleandra cumingii</i> J. Sm.	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
海南蓀蕨 <i>Oleandra hainanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
圆基蓀蕨 <i>Oleandra intermedia</i> Ching	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
光叶蓀蕨 <i>Oleandra musifolia</i> (Blume) C. Presl	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
攀援蓀蕨 <i>Oleandra pistillaris</i> (Sw.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
波边蓀蕨 <i>Oleandra undulata</i> (Willd.) Ching	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
高山蓀蕨 <i>Oleandra wallichii</i> (Hook.) C. Presl	单裂缝 Monolete	蓀蕨科 Oleandraceae	蓀蕨科 Oleandraceae
假美小膜盖蕨 <i>Araiostegia beddomei</i> (C. Hope) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
小膜盖蕨 <i>Araiostegia delavayi</i> (Bedd. ex C. B. Clarke & Baker) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
细裂小膜盖蕨 <i>Araiostegia faberiana</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
宿枝小膜盖蕨 <i>Araiostegia hookeri</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
绿叶小膜盖蕨 <i>Araiostegia imbricata</i> Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
大膜盖蕨 <i>Araiostegia immersa</i> (Wall. ex Hook.) C. Presl	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
台湾小膜盖蕨 <i>Araiostegia parvipinnata</i> (Hayata) Copel.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
鳞轴小膜盖蕨 <i>Araiostegia perdurans</i> (Christ) Copel.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
长片小膜盖蕨 <i>Araiostegia pseudocystopteris</i> (Kunze) Copel.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
美小膜盖蕨 <i>Araiostegia pulchra</i> (D. Don) Copel.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
云南小膜盖蕨 <i>Araiostegia yunnanensis</i> (Christ) Copel.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
云桂骨碎补 <i>Davallia amabilis</i> Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
华南骨碎补 <i>Davallia austrosinica</i> Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
麻栗坡骨碎补 <i>Davallia brevisora</i> Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
云南骨碎补 <i>Davallia cylindrica</i> Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
假脉骨碎补 <i>Davallia denticulata</i> (Burm. f.) Mett. ex Kuhn	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
大叶骨碎补 <i>Davallia formosana</i> Hayata	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
骨碎补 <i>Davallia mariesii</i> T. Moore ex Baker	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
阔叶骨碎补 <i>Davallia solida</i> (Forst.) Sw.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
长叶阴石蕨 <i>Humata assamica</i> (Bedd.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
阿里山阴石蕨 <i>Humata chrysanthemifolia</i> Hayata	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
杯盖阴石蕨 <i>Humata griffithiana</i> (Hook.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
马来阴石蕨 <i>Humata pectinata</i> (Sm.) Desv.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
半圆盖阴石蕨 <i>Humata platylepis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
阴石蕨 <i>Humata repens</i> (L. f.) J. Small ex Diels	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
鳞叶阴石蕨 <i>Humata trifoliata</i> Cav.	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
圆盖阴石蕨 <i>Humata tyermannii</i> T. Moore	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
热带阴石蕨 <i>Humata vestita</i> (Blume) T. Moore	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
秦氏假钻毛蕨 <i>Paradavallodes chingiae</i> (Ching) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
膜叶假钻毛蕨 <i>Paradavallodes membranulosum</i> (Wall. ex Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
假钻毛蕨 <i>Paradavallodes multidentatum</i> (Hook. & Baker) Ching	单裂缝 Monolete	骨碎补科 Davalliaceae	骨碎补科 Davalliaceae
顶生剑蕨 <i>Loxogramme acroscopa</i> C. Chr.	三裂缝 Trilete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
黑鳞剑蕨 <i>Loxogramme assimilis</i> Ching	三裂缝 Trilete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
中华剑蕨 <i>Loxogramme chinensis</i> Ching	三裂缝 Trilete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
西藏剑蕨 <i>Loxogramme cuspidata</i> (Zenker) M. G. Price	单裂缝 Monolete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
褐柄剑蕨 <i>Loxogramme duclouxii</i> Chirst	三裂缝 Trilete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
台湾剑蕨 <i>Loxogramme formosana</i> Nakai	单裂缝 Monolete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
匙叶剑蕨 <i>Loxogramme grammitoides</i> (Baker) C. Chr.	三裂缝 Trilete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
内卷剑蕨 <i>Loxogramme involuta</i> (D. Don) C. Presl	单裂缝 Monolete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
老街剑蕨 <i>Loxogramme lankokiensis</i> (Rosenst.) C. Chr.	三裂缝 Trilete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
拟内卷剑蕨 <i>Loxogramme porcata</i> M. G. Price	单裂缝 Monolete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
柳叶剑蕨 <i>Loxogramme salicifolia</i> (Makino) Makino	单裂缝 Monolete	剑蕨科 Loxogrammaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
雨蕨 <i>Gymnogrammitis dareiformis</i> (Hook.) Ching ex Tardieu & C. Chr.	单裂缝 Monolete	雨蕨科 Gymnogrammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
连珠蕨 <i>Aglaomorpha meyeniana</i> Schott	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
团叶槲蕨 <i>Drynaria bonii</i> Christ	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
川滇槲蕨 <i>Drynaria delavayi</i> Christ	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
毛槲蕨 <i>Drynaria mollis</i> Bedd.	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
小槲蕨 <i>Drynaria parishii</i> (Bedd.) Bedd.	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
石莲姜槲蕨 <i>Drynaria propinqua</i> (Wall. ex Mett.) J. Sm. ex Bedd.	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
栎叶槲蕨 <i>Drynaria quercifolia</i> (L.) J. Sm.	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
硬叶槲蕨 <i>Drynaria rigidula</i> (Sw.) Bedd.	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
槲蕨 <i>Drynaria roosii</i> Nakaike	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
秦岭槲蕨 <i>Drynaria sinica</i> Diels	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
顶育蕨 <i>Photinopteris acuminata</i> C. V. Morton	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
崖姜蕨 <i>Pseudodrynaria coronans</i> (Wall. ex Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	槲蕨科 Drynariaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
鹿角蕨 <i>Platynerium wallichii</i> Hook.	单裂缝 Monolete	鹿角蕨科 Platyneriaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
尾状节肢蕨 <i>Arthromeris caudata</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
贯众叶节肢蕨 <i>Arthromeris cyrtomioides</i> S.G. Lu & C. D. Xu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
美丽节肢蕨 <i>Arthromeris elegans</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
片马节肢蕨 <i>Arthromeris elegans</i> f. <i>pianmaensis</i> S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
琉璃节肢蕨 <i>Arthromeris himalayensis</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
中间节肢蕨 <i>Arthromeris intermedia</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
节肢蕨 <i>Arthromeris lehmannii</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
龙头节肢蕨 <i>Arthromeris lungtauensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
多羽节肢蕨 <i>Arthromeris mairei</i> (Brause) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
墨脱节肢蕨 <i>Arthromeris medogensis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
黑鳞节肢蕨 <i>Arthromeris nigropaleacea</i> S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
柳叶节肢蕨 <i>Arthromeris salicifolia</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
康定节肢蕨 <i>Arthromeris tatsienensis</i> (Franch. & Bureau ex Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
狭羽节肢蕨 <i>Arthromeris tenuicauda</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
厚毛节肢蕨 <i>Arthromeris tomentosa</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
单行节肢蕨 <i>Arthromeris wallichiana</i> (Spreng.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
灰背节肢蕨 <i>Arthromeris wardii</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
显脉尖嘴蕨 <i>Belvisia annamensis</i> (C. Chr.) S. H. Fu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
隐柄尖嘴蕨 <i>Belvisia henryi</i> (Hieron. ex C. Chr.) S. H. Fu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
尖嘴蕨 <i>Belvisia mucronata</i> (Fé) Copel.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
高平蕨 <i>Caobangia squamata</i> A. R. Smith & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
戟蕨 <i>Christiopteris tricuspidis</i> (Hook.) Christ	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
掌叶线蕨 <i>Colysis digitata</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
异叶线蕨 <i>Colysis diversifolia</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
线蕨 <i>Colysis elliptica</i> (Thunb.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
曲边线蕨 <i>Colysis elliptica</i> var. <i>flexiloba</i> (Christ) L. Shi & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长柄变种 <i>Colysis elliptica</i> var. <i>longipes</i> (Ching) L. Shi & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
滇浅蕨 <i>Colysis elliptica</i> var. <i>pentaphylla</i> (Baker) L. Shi & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
宽羽线蕨 <i>Colysis elliptica</i> var. <i>pothifolia</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
断线蕨 <i>Colysis hemionitidea</i> (C. Presl) C. Presl	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
胄叶线蕨 <i>Colysis hemitoma</i> (Hance) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
矩圆线蕨 <i>Colysis henryi</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
绿叶线蕨 <i>Colysis leveillei</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长柄线蕨 <i>Colysis pedunculata</i> (Hook. & Grev.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
宽羽线蕨 <i>Colysis pothifolia</i> (Buch.-Ham. ex D. Don) C. Presl	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
褐叶线蕨 <i>Colysis wrightii</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
新店线蕨 <i>Colysis</i> × <i>shintenensis</i> (Hayata) H. Ito	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
抱树莲 <i>Drymoglossum piloselloides</i> (L.) C. Presl	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
丝带蕨 <i>Dryotaenium miyoshianum</i> (Makino) Makino	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
肉质伏石蕨 <i>Lemmaphyllum carnosum</i> (J. Sm. ex Hook.) C. Presl	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
伏石蕨 <i>Lemmaphyllum microphyllum</i> C.Presl	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
倒卵伏石蕨 <i>Lemmaphyllum microphyllum</i> var. <i>obovatum</i> (Harr.) C. Chr.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
贴生骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis adnascens</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
披针骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis diversa</i> (Rosenst.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
抱石莲 <i>Lepidogrammitis drymoglossoides</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长叶骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis elongata</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
中间骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis intermedia</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
甘肃骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis kansuensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
梨叶骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis pyriformis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis rostrata</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
鳞果星蕨 <i>Lepidomicrosorium buergerianum</i> (Miq.) Ching & K. H. Shing	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
云南鳞果星蕨 <i>Lepidomicrosorium hymenodes</i> (Kunze) L. Shi & X. C. Zhang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
海南瓦韦 <i>Lepisorus affinis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
天山瓦韦 <i>Lepisorus albertii</i> (Regel) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
狭叶瓦韦 <i>Lepisorus angustus</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
黄瓦韦 <i>Lepisorus asterolepis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
两色瓦韦 <i>Lepisorus bicolor</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
丛生瓦韦 <i>Lepisorus cespitosus</i> Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
网眼瓦韦 <i>Lepisorus clathratus</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
汇生瓦韦 <i>Lepisorus confluens</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
扭瓦韦 <i>Lepisorus contortus</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
粗柄瓦韦 <i>Lepisorus crassipes</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
高山瓦韦 <i>Lepisorus eilophyllus</i> (Diels) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
片马瓦韦 <i>Lepisorus elegans</i> Ching & W. M. Chu ex W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
吉隆瓦韦 <i>Lepisorus gyirongensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
瑶山瓦韦 <i>Lepisorus kuchenensis</i> (Y. C. Wu) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
庐山瓦韦 <i>Lepisorus lewisii</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
丽江瓦韦 <i>Lepisorus likiangensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长叶瓦韦 <i>Lepisorus longus</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
带叶瓦韦 <i>Lepisorus loriformis</i> (Wall. ex Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
绿春瓦韦 <i>Lepisorus luchunensis</i> Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
大瓦韦 <i>Lepisorus macrosphaerus</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
宝岛瓦韦 <i>Lepisorus magasorus</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
有边瓦韦 <i>Lepisorus marginatus</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
墨脱瓦韦 <i>Lepisorus medogensis</i> Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
白边瓦韦 <i>Lepisorus morrisonensis</i> (Hayata) H. Ito	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
聂拉木瓦韦 <i>Lepisorus nyalamensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
粤瓦韦 <i>Lepisorus obscurevenulosus</i> (Hayata) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
鳞瓦韦 <i>Lepisorus oligolepidus</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
百华山瓦韦 <i>Lepisorus paohuashanensis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
台湾瓦韦 <i>Lepisorus papakensis</i> (Masam.) Ching & Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长瓦韦 <i>Lepisorus pseudonudus</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
拟乌苏里瓦韦 <i>Lepisorus pseudo-ussuriensis</i> Tagawa	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
棕鳞瓦韦 <i>Lepisorus scolopendrium</i> (Ham. ex D. Don.) Mehra	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
中华瓦韦 <i>Lepisorus sinensis</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
黑鳞瓦韦 <i>Lepisorus sordidus</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
狭带瓦韦 <i>Lepisorus stenistus</i> (C. B. Clarke) Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
连珠瓦韦 <i>Lepisorus subconfluens</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
滇瓦韦 <i>Lepisorus sublinearis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
拟鳞瓦韦 <i>Lepisorus suboligolepidus</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
太白瓦韦 <i>Lepisorus thaipaiensis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
瓦韦 <i>Lepisorus thunbergianus</i> (Kaulf.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
西藏瓦韦 <i>Lepisorus tibeticus</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
阔叶瓦韦 <i>Lepisorus tosaensis</i> (Makino) H. Ito	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
软毛瓦韦 <i>Lepisorus tricholepis</i> K. H. Shing ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
乌苏里瓦韦 <i>Lepisorus ussuriensis</i> (Regel & Maack) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
云南瓦韦 <i>Lepisorus xiphopteris</i> (Baker) W. M. Chu ex Y. X. Lin	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
薄唇蕨 <i>Leptochilus axillaris</i> (Cav.) Kaulf.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
心叶薄唇蕨 <i>Leptochilus cantoniensis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
似薄唇蕨 <i>Leptochilus decurrens</i> Blume	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
篦齿蕨 <i>Metapolypodium manmeiense</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
江南星蕨 <i>Microsorium fortunei</i> (T. Moore) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
羽裂星蕨 <i>Microsorium insigne</i> (Blume) Copel.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
膜叶星蕨 <i>Microsorium membranaceum</i> (D. Don) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
龙骨星蕨 <i>Microsorium membranaceum</i> var. <i>carinatum</i> W. M. Chu & Z. R. He	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
有翅星蕨 <i>Microsorium pteropus</i> (Blume) Copel.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
星蕨 <i>Microsorium punctatum</i> (L.) Copel.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
网脉星蕨 <i>Microsorium reticulatum</i> Ching ex L. Shi	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
广叶星蕨 <i>Microsorium steerei</i> (Harr.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
表面星蕨 <i>Microsorium superficiale</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
显脉星蕨 <i>Microsorium zippelii</i> (Blume) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
扇蕨 <i>Neocheiropteris palmatopedata</i> (Baker) Christ	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
三叉扇蕨 <i>Neocheiropteris triglossa</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
剑叶盾蕨 <i>Neolepisorus ensatus</i> (Thunb.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
小盾蕨 <i>Neolepisorus minor</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
盾蕨 <i>Neolepisorus ovatus</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
三角叶盾蕨 <i>Neolepisorus ovatus f. deltoideus</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
蟹爪盾蕨 <i>Neolepisorus ovatus f. doryopteris</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
截基盾蕨 <i>Neolepisorus truncatus</i> Ching & P. S. Wang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
灰鳞假瘤蕨 <i>Phymatopteris albopes</i> (C. Chr. & Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
芒刺假瘤蕨 <i>Phymatopteris cartilagineo-serrata</i> (Ching & S. K. Wu) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
白茎假瘤蕨 <i>Phymatopteris chrysotricha</i> (C. Chr.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
交连假瘤蕨 <i>Phymatopteris conjuncta</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
钝羽假瘤蕨 <i>Phymatopteris conmixta</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
耿马假瘤蕨 <i>Phymatopteris connexa</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
紫柄假瘤蕨 <i>Phymatopteris crenatopinnata</i> (C. B. Clarke) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
十字假瘤蕨 <i>Phymatopteris cruciformis</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
指叶假瘤蕨 <i>Phymatopteris dactylina</i> (Christ) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
大围山假瘤蕨 <i>Phymatopteris daweishanensis</i> S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
掌叶假瘤蕨 <i>Phymatopteris digitata</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
黑鳞假瘤蕨 <i>Phymatopteris ebenipes</i> (Hook.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
毛轴黑鳞假瘤蕨 <i>Phymatopteris ebenipes</i> var. <i>oakesii</i> (C. B. Clarke) Satija & Bir	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
大叶玉山假瘤蕨 <i>Phymatopteris echinospora</i> (Tagawa) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
恩氏假瘤蕨 <i>Phymatopteris engleri</i> (Luer) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
锡金假瘤蕨 <i>Phymatopteris erythrocarpa</i> (Mett. ex Kuhn) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
镰羽假瘤蕨 <i>Phymatopteris falcatopinnata</i> (Hayata) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
刺齿假瘤蕨 <i>Phymatopteris glaucopsis</i> (Franch.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
大果假瘤蕨 <i>Phymatopteris griffithiana</i> (Hook.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
海南假瘤蕨 <i>Phymatopteris hainanensis</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
金鸡脚假瘤蕨 <i>Phymatopteris hastata</i> (Thunb.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
昆明假瘤蕨 <i>Phymatopteris hirtella</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
圆齿假瘤蕨 <i>Phymatopteris incisocrenata</i> Ching ex W. M. Chu & S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
丽江假瘤蕨 <i>Phymatopteris likiangensis</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
宽底假瘤蕨 <i>Phymatopteris majoensis</i> (C. Chr.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
弯弓假瘤蕨 <i>Phymatopteris malacodon</i> (Hook.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
乌鳞假瘤蕨 <i>Phymatopteris nigropaleacea</i> (Ching) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
毛叶假瘤蕨 <i>Phymatopteris nigrovenia</i> (Christ) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长圆假瘤蕨 <i>Phymatopteris oblongifolia</i> (S. K. Wu) W. M. Chu & S. G. Lu in H. Li.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
圆顶假瘤蕨 <i>Phymatopteris obtusa</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
峨眉假瘤蕨 <i>Phymatopteris omeiensis</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
尖裂假瘤蕨 <i>Phymatopteris oxyloba</i> (Wall. ex Kunze) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
透明叶假瘤蕨 <i>Phymatopteris pellucidifolia</i> (Hayata) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
片马假瘤蕨 <i>Phymatopteris pianmaensis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
展羽假瘤蕨 <i>Phymatopteris quasidivariata</i> (Hayata) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
喙叶假瘤蕨 <i>Phymatopteris rhynchophylla</i> (Hook.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
陕西假瘤蕨 <i>Phymatopteris shensiensis</i> (Christ) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
相似假瘤蕨 <i>Phymatopteris similis</i> (Ching) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
尾尖假瘤蕨 <i>Phymatopteris stewartii</i> (Bedd.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
斜下假瘤蕨 <i>Phymatopteris stracheyi</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
苍山假瘤蕨 <i>Phymatopteris subebenipes</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
台湾假瘤蕨 <i>Phymatopteris taiwanensis</i> (Tagawa) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
细柄假瘤蕨 <i>Phymatopteris tenuipes</i> (Ching) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
西藏假瘤蕨 <i>Phymatopteris tibetana</i> (Ching & S. K. Wu) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
三指假瘤蕨 <i>Phymatopteris triloba</i> (Houtt.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
三出假瘤蕨 <i>Phymatopteris trisecta</i> (Baker) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
无量山假瘤蕨 <i>Phymatopteris wuliangshanensis</i> W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
屋久假瘤蕨 <i>Phymatopteris yakushimensis</i> (Makino) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
光亮瘤蕨 <i>Phymatosorus cuspidatus</i> (D. Don) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
阔鳞瘤蕨 <i>Phymatosorus hainanensis</i> (Noot.) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
矛叶瘤蕨 <i>Phymatosorus lanceus</i> (Ching & Chu H. Wang) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
多羽瘤蕨 <i>Phymatosorus longissimus</i> (Blume) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
显脉瘤蕨 <i>Phymatosorus membranifolius</i> (R. Brown) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
瘤蕨 <i>Phymatosorus scolopendria</i> (Burm. f.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
深波宽带蕨 <i>Platygyria sinuata</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
川西宽带蕨 <i>Platygyria soulieana</i> (Christ) X. C. Zhang & Q. R. Liu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
多变宽带蕨 <i>Platygyria variabilis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
宽带蕨 <i>Platygyria waltonii</i> (Ching) Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
耳基宽带蕨 <i>Platygyria × inaequibasis</i> Ching & S. K. Wu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
尖齿拟水龙骨 <i>Polypodiastrium argutum</i> (Wall. ex Hook. Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
川拟水龙骨 <i>Polypodiastrium dielseanum</i> (C. Chr.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
友水龙骨 <i>Polypodiodes amoena</i> (Wall. ex Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
红杆水龙骨 <i>Polypodiodes amoena</i> var. <i>duclouxii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
柔毛水龙骨 <i>Polypodiodes amoena</i> var. <i>pilosa</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
滇越水龙骨 <i>Polypodiodes bourretii</i> (C. Chr. & Tardieu) W. M. Chu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
中华水龙骨 <i>Polypodiodes chinensis</i> (Christ) S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
镰羽水龙骨 <i>Polypodiodes falcipinnula</i> S. K. Wu & J. Murata	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
台湾水龙骨 <i>Polypodiodes formosana</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
喜马拉雅水龙骨 <i>Polypodiodes hendersonii</i> (Bedd.) Fraser-Jenk.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
澜水龙骨 <i>Polypodiodes lachnopus</i> (Wall. ex Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
栗柄水龙骨 <i>Polypodiodes microrhizoma</i> (C. B. Clarke ex Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
日本水龙骨 <i>Polypodiodes niponica</i> (Mett.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
腺叶水龙骨 <i>Polypodiodes niponica</i> var. <i>glandulosa</i> P. S. Wang	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
假毛柄水龙骨 <i>Polypodiodes pseudolachnopus</i> S. G. Lu	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
假友水龙骨 <i>Polypodiodes subamoena</i> (C. B. Clarke) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
光茎水龙骨 <i>Polypodiodes wattii</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
东北多足蕨 <i>Polypodium virginianum</i> L.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
欧亚多足蕨 <i>Polypodium vulgare</i> L.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
贴生石韦 <i>Pyrrosia adnascens</i> (Sw.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
钙生石韦 <i>Pyrrosia adnascens</i> f. <i>calcicola</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
石蕨 <i>Pyrrosia angustissima</i> (Gies. ex Diels) Tagawa & K. Iwats.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
相近石韦 <i>Pyrrosia assimilis</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
波氏石韦 <i>Pyrrosia bonii</i> (Christ ex Gies.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
布施石韦 <i>Pyrrosia boothii</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
光石韦 <i>Pyrrosia calvata</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
尾叶石韦 <i>Pyrrosia caudifrons</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
下延石韦 <i>Pyrrosia costata</i> (C. Presl) Tagawa & K. Iwats.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
华北石韦 <i>Pyrrosia davidii</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
毡毛石韦 <i>Pyrrosia drakeana</i> (Franch.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
琼崖石韦 <i>Pyrrosia eberhardtii</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
卷毛石韦 <i>Pyrrosia flocculosa</i> (D. Don) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
西南石韦 <i>Pyrrosia gralla</i> (Gies.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
戟叶石韦 <i>Pyrrosia hastata</i> (Thunb. ex Houtt.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
纸质石韦 <i>Pyrrosia heteractis</i> (Mett. ex. Kuhn) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
平滑石韦 <i>Pyrrosia laevis</i> (J. Sm. ex Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
披针叶石韦 <i>Pyrrosia lanceolata</i> (L.) Farwell	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
线叶石韦 <i>Pyrrosia linearifolia</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
石韦 <i>Pyrrosia lingua</i> (Thunb.) Farwell	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
南洋石韦 <i>Pyrrosia longifolia</i> (Burm. f.) Morton	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
蔓氏石韦 <i>Pyrrosia mannii</i> (Gies.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
松田氏石韦 <i>Pyrrosia matsudae</i> (Hayata) Tagawa	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
裸叶石韦 <i>Pyrrosia nuda</i> (Gies.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
裸茎石韦 <i>Pyrrosia nudicaulis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
钱币石韦 <i>Pyrrosia nummulariifolia</i> (Sw.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
长圆石韦 <i>Pyrrosia oblonga</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
有柄石韦 <i>Pyrrosia petiolosa</i> (Christ) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁 昌, 1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
槭叶石韦 <i>Pyrrosia polydactyla</i> (Hance) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
柔软石韦 <i>Pyrrosia porosa</i> (C. Presl) Hovenk.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
平绒石韦 <i>Pyrrosia porosa</i> var. <i>mollissima</i> (Ching) K. H. Shing	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
庐山石韦 <i>Pyrrosia sheareri</i> (Baker) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
神农石韦 <i>Pyrrosia shennongensis</i> K. H. Shing	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
相似石韦 <i>Pyrrosia similis</i> Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
狭叶石韦 <i>Pyrrosia stenophylla</i> (Bedd.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
柱状石韦 <i>Pyrrosia stigmosa</i> (Sw.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
绒毛石韦 <i>Pyrrosia subfurfuracea</i> (Hook.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
中越石韦 <i>Pyrrosia tonkinensis</i> (Gies.) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
棱脉蕨 <i>Schellolepis persicifolia</i> (Desv.) Pic. Serm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
穴果棱脉蕨 <i>Schellolepis subauriculata</i> (Blume) J. Sm.	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
毛鳞蕨 <i>Tricholepidium normale</i> (D. Don) Ching	单裂缝 Monolete	水龙骨科 Polypodiaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
睫毛蕨 <i>Pleurosoriopsis makinoi</i> (Maxim. ex Makino) Fomin	单裂缝 Monolete	睫毛蕨科 Pleurosoriopsidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
短叶荷包蕨 <i>Calymmodon asiaticus</i> Copel.	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
疏毛荷包蕨 <i>Calymmodon gracilis</i> (Fé) Copel.	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
无毛禾叶蕨 <i>Grammitis adspersa</i> Blume	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
太武禾叶蕨 <i>Grammitis congener</i> Blume	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
短柄禾叶蕨 <i>Grammitis dorsipila</i> (Christ) C. Chr. & Tardieu	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
大禾叶蕨 <i>Grammitis intromissa</i> (Christ) Parris	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
拟禾叶蕨 <i>Grammitis jagoriana</i> (Mett.) Tagawa	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

物种 Species	孢子裂缝类型 Spore apertures styles	科名 Family (秦仁昌,1978a, b)	科名 Family (Smith et al., 2006; Christenhusz et al, 2011; 张宪春等, 2013)
长抱禾叶蕨 <i>Grammitis nuda</i> Tagawa	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
毛禾叶蕨 <i>Grammitis reinwardtii</i> Blume	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
叉毛锯蕨 <i>Micropolypodium cornigerum</i> (Baker) X. C. Zhang	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
锯蕨 <i>Micropolypodium okuboi</i> (Yatabe) Hayata	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
锡金锯蕨 <i>Micropolypodium sikkimense</i> (Hieron.) X. C. Zhang	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
缘生穴子蕨 <i>Prosaptia contigua</i> (G. Forst.) C. Presl	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
穴子蕨 <i>Prosaptia khasyana</i> (Hook.) C. Chr. & Tardieu	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
琼崖穴子蕨 <i>Prosaptia obliquata</i> (Blume) Mett.	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae
革舌蕨 <i>Scleroglossum pusillum</i> (Blume) Alderw.	三裂缝 Trilete	禾叶蕨科 Grammitidaceae	水龙骨科 Polypodiaceae

参考文献:

Ching RC (1978a) The Chinese fern families and genera: systematic arrangement and historical origin. Acta Phytotaxonomica Sinica, 16(3), 1–19. (in Chinese) [秦仁昌 (1978a) 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源. 植物分类学报, 16(3), 1–19.]

Ching RC (1978b) The Chinese fern families and genera: systematic arrangement and historical origin (cont.). Acta Phytotaxonomica Sinica, 16(4), 16–37. (in Chinese) [秦仁昌 (1978b) 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源(续). 植物分类学报, 16(4), 16–37.]

Christenhusz MJM, Zhang XC, Schneider H (2011) A linear sequence of extant families and genera of lycophytes and ferns. Phytotaxa, 19, 7–54.

Smith AR, Pryer KM, Schuettpelz E, Korall P, Schneider H, Wolf PG (2006) A classification for extant ferns. Taxon, 55, 705–731.

Zhang XC, Wei R, Liu HM, He LJ, Wang L, Zhang GM (2013) Phylogeny and classification of the extant lycophytes and ferns from China.

魏雪苹, 张宪春. 蕨类植物不同孢子裂缝类型在中国的分布格局. 生物多样性, 2016, 24(10): 1129-1134
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016219>

Chinese Bulletin of Botany, 48, 119–137. (in Chinese with English abstract) [张宪春, 卫然, 刘红梅, 何丽娟, 王丽, 张钢民 (2013) 中国现代石松类和蕨类的系统发育与分类系统. 植物学报, 48, 119–137.]

• 研究报告 •

千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力差异 对群落动态的影响

吴奕如 斯幸峰 陈传武 曾 頔 赵郁豪 李家琦 丁 平*

(浙江大学生命科学学院, 杭州 310058)

摘要: 岛屿生物地理学理论的核心过程是岛屿物种的周转, 包括迁入与灭绝。本研究旨在探讨扩散能力差异对岛屿繁殖鸟类群落动态的影响。2007年4月至2013年6月, 采用样线法调查了千岛湖36个陆桥岛屿的繁殖鸟类, 依据扩散能力强弱将其划分为两类, 结合陆桥岛屿参数, 并运用逻辑斯蒂回归模型和最大似然法, 来研究鸟类扩散能力的不同对其周转率的影响。结果表明, 千岛湖繁殖鸟类扩散能力强的物种具有较高周转率且受岛屿参数约束较小, 而扩散能力弱的物种周转率较低且对岛屿参数变化更敏感。因此, 千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力显著影响其群落动态。

关键词: 周转率; 迁入率; 灭绝率; 群落动态; 繁殖鸟类; 千岛湖

Effects of dispersal abilities on community dynamics of breeding birds on the land-bridge islands in the Thousand Island Lake, China

Yiru Wu, Xingfeng Si, Chuanwu Chen, Di Zeng, Yuhao Zhao, Jiaqi Li, Ping Ding*

College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058

Abstract: Island biogeography theory is an important part of community ecology, and its core process is species turnover, which is determined by species colonization and extinction. A large number of studies have shown that community dynamics of many biotic taxa can be affected by their dispersal abilities. Our study explored the effects of dispersal abilities on community dynamics of breeding birds. Between April 2007 and June 2013, we surveyed bird communities using line-transects on 36 land-bridge islands during breeding seasons in the Thousand Island Lake, China. We divided breeding birds into two types according to their dispersal abilities. We then used multivariate logistic regression and the maximum likelihood method to estimate the biogeographical parameters and to analyze community dynamics of these breeding birds. Results showed that birds with strong dispersal abilities have been less affected by island parameters than others, with a higher turnover rate. Therefore, the difference of dispersal abilities of breeding birds has significant effects on their community dynamics on the land-bridge islands in the Thousand Island Lake, China.

Key words: turnover rate; colonization rate; extinction rate; community dynamics; breeding birds; Thousand Island Lake

MacArthur和Wilson经典岛屿生物地理学理论 (Island Biogeography Theory, IBT) (MacArthur & Wilson, 1963, 1967)认为, 物种丰富度由物种迁入和物种灭绝两个过程共同决定, 其中迁入率随着岛屿

隔离度的增大而减小(距离效应, distance effect), 灭绝率则随岛屿面积的增大而减小(面积效应, area effect) (Manne et al, 1998; Krauss et al, 2003; Si et al, 2014)。由此, 可以推断面积大、隔离度小的岛屿会

收稿日期: 2016-07-30; 接受日期: 2016-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(31210103908; 31500453)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: dingping@zju.edu.cn

比面积小、隔离度大的岛屿拥有更多的物种(Diamond, 1975; Diamond & Marshall, 1977; Rosenzweig, 1995; Spengler et al, 2011)。同时, 该理论认为岛屿或片断化生境中的物种丰富度存在动态平衡, 但物种组成会随时间而变化(Morrison, 2010)。尽管岛屿生物地理学理论提出于50多年前, 但它始终是群落生态学研究的核心理论(Burns & Neufeld, 2009; Losos & Ricklefs, 2010)。

物种周转指随着时间发展, 一个区域持续发生的某些物种局部灭绝和其他物种迁入的两个过程(Panitsa et al, 2008)。目前已有大量的研究(Diamond, 1969; Nilsson & Nilsson, 1982; Cody, 2006; Si et al, 2014)。例如, Husté和Boulinier (2007)通过对巴黎郊区生境斑块中鸟类群落的研究, 发现候鸟的周转率高于留鸟; 候鸟的周转率与生境斑块的大小呈负相关, 而留鸟的周转率与其距城市中心的距离呈负相关。又如, Foufopoulos和Mayer (2007)对爱琴海中5个岛屿上的雀形目鸟类进行研究后, 得到面积最小的岛屿拥有最高年际相对周转率, 而候鸟周转率高于其他鸟类的结论。尽管有关物种周转的研究很多, 但是基于岛屿生物地理学理论, 探讨物种扩散能力的不同对物种周转的影响的研究仍然鲜有报道。

扩散能力是建立和保持较大物种丰富度的一个主要驱动因素(Lowry & Lester, 2006; Patiño et al, 2014)。有关扩散能力的研究多与物种分布、群落组成变化相关。一些研究已经指出扩散能力不同会致使种-面积关系产生显著差异(Drakare et al, 2006; Franzén et al, 2012; Aranda et al, 2013)。Gaston (2003)研究发现, 后生动物(metazoan species)中扩散能力强的物种常具有更宽广的地理分布范围, 而扩散能力弱的物种占据的地理范围相对有限。Heiser等(2014)对古北界西部的蜻蜓目进行调查, 发现束翅亚目和差翅亚目间扩散能力的差别使岛屿、海峡隔离对物种产生筛选作用, 从而导致物种分布模式不同。Pitta等(2014)研究发现有扩散能力弱物种分布的岛屿间差距比有扩散能力强物种分布的岛屿间差距大。因此, 岛屿中物种扩散能力的差别会在局域和区域尺度上影响物种的迁入率、灭绝率和群落物种组成等方面(Rosenzweig, 1995; Kisel et al, 2011; Ricklefs & Renner, 2012; Patiño et al, 2014)。

千岛湖作为陆桥岛屿系统, 是研究群落动态的极佳平台。首先, 所有岛屿都拥有相同的生态背景

和明确的地理边界(Whittaker & Fernández-Palacios, 2007); 其次, 陆桥岛屿相对较小, 岛屿上的物种易于全面调查(Si et al, 2014); 最后, 所有岛屿发生片断化的时间相同, 岛屿所受人为干扰较少。本文以千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类为对象, 尝试研究: (1)物种丰富度与岛屿面积、隔离度之间有何关系; (2)不同扩散能力鸟类的迁入率、灭绝率是否分别随岛屿面积、隔离度的变化而变化; 以及(3)不同扩散能力鸟类物种的周转率有何不同等问题, 进而了解扩散能力的不同对鸟类群落动态的影响。

1 研究地概况

千岛湖位于浙江省淳安县境内(29°22'–29°50' N, 118°34'–119°15' E), 地处浙江省西部, 是1959年因建造新安江水力发电站而形成的人工湖泊。当水位达到108 m时, 水域面积为573 km², 并形成1,078个面积大于0.25 ha的陆桥岛屿(Wang et al, 2009)。千岛湖地处亚热带季风气候区的北缘, 夏季高温多雨, 冬季温和少雨, 春暖秋凉, 四季分明。湖中岛屿的地带性植被类型为亚热带常绿林, 现有森林植被以天然次生马尾松(*Pinus massoniana*)林为主(张竞成等, 2008)。

2 研究方法

2.1 调查岛屿设置

2007–2013年夏季, 在千岛湖选取36个人为干扰少的岛屿作为研究区域(图1)。所选岛屿面积在0.57–1,300 ha之间, 岛屿距陆地最近距离在20 m和3.71 km之间(Si et al, 2016)。依据岛屿面积从大到小的顺序依次标记为1–36号。

2.2 鸟类物种调查方法

2007–2013年的4–6月(繁殖季), 在无雨、无雾和无风的晴好天气, 采用样线法对选定岛屿的鸟类进行调查。对于面积较大的岛屿, 根据面积大小设置不同数量的调查样线(面积大于1,000 ha的岛屿设置8条样线, 面积在100–1,000 ha间的岛屿设置4条样线, 面积在10–100 ha间的岛屿设置2条样线), 每条样线长度约400 m; 对于面积较小(10 ha以内)的岛屿, 沿岛屿山脊部设置样线, 贯通全岛进行调查(Wang et al, 2009)。调查期间, 调查者每天早晨(日出后开始至10点左右)和日落前2小时, 以约1.5 km/h的速度沿样线前进, 记录距离样线25 m范围内

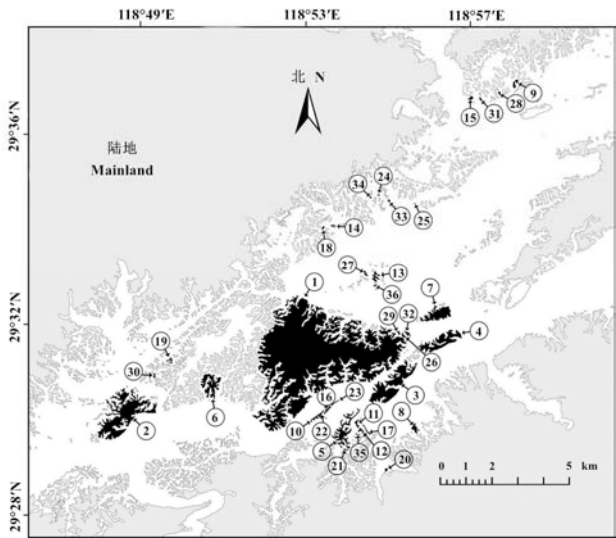


图1 千岛湖36个研究岛屿分布图
Fig. 1 Maps of the 36 studied islands in the Thousand Island Lake, China.

见到或听到的鸟类, 飞过样线但未在样线内停留的不计(张竞成等, 2008)。2007–2010年, 每个月对每个岛屿重复调查5次; 2011–2013年, 每个月对每个岛屿重复调查3次。所有调查数据合并处理, 即某种鸟类在某一岛屿上出现 (presence) 记为1, 不出现 (absence) 记为0。所有调查岛屿一天内不进行重复调查, 并避免在相邻两天调查同一岛屿。本文研究对象为繁殖鸟类, 所以调查者需要对具有繁殖行为 (筑巢、抚育雏鸟、领域行为等) 的鸟类进行标注, 方便分析研究中的数据筛选。

2.3 栖息地特征参数

栖息地特征参数包括调查岛屿面积(Area, A)、隔离度(Isolation, I)。目前常用的隔离度计算方法主要有3种: 岛屿边缘距最近大陆直线最短距离 (distance to the nearest mainland)、岛屿边缘距最近岛屿直线最短距离(distance to nearby nearest island)、岛屿边缘距最近较大岛屿直线最短距离 (distance to nearby larger island) (Si et al, 2014)。这3种不同的隔离度计算方法所计算出的格局均相似 (图2, 附录1), 因此选取了其中适合本研究数据的隔离度计算方法, 即岛屿边缘距最近大陆距离 (Wang et al, 2010, 2011)。岛屿面积(ha)、隔离度(m)均使用ArcView 3.2对千岛湖地区景观地形参数图

表1 千岛湖36个调查岛屿的各项参数
Table 1 Characteristics of 36 studied islands in the Thousand Island Lake, China

岛屿编号 Island code	面积 Area (ha)	隔离度 Isolation (m)	样线长度 Total length of transects (m)
1	1,289.23	897	3,200
2	143.19	1,415	1,600
3	109.03	965	1,600
4	55.08	954	800
5	46.37	730	800
6	35.64	2,110	800
7	32.29	1,937	800
8	5.69	22	375
9	3.42	583	300
10	2.90	1,785	275
11	2.83	1,238	150
12	2.29	974	300
13	2.23	3,262	400
14	2.00	1,042	300
15	1.93	888	250
16	1.74	2,293	300
17	1.54	711	375
18	1.52	850	250
19	1.40	1,760	375
20	1.26	55	200
21	1.20	658	225
22	1.20	2,129	225
23	1.17	2,453	250
24	1.15	847	275
25	1.03	1,459	250
26	1.01	2,104	250
27	0.96	3,134	250
28	0.91	1,340	275
29	0.86	2,322	225
30	0.83	2,299	275
31	0.83	1,099	250
32	0.80	2,098	300
33	0.67	1,140	325
34	0.59	641	225
35	0.59	1,018	250
36	0.57	3,712	200

(1 : 10000)测量所得(张竞成等, 2008)。

2.4 鸟类扩散能力

在片断化生境中, 鸟类扩散能力常用鸟类的平均翅长(mm)与其平均体重(g)的立方根的比值来计算(Woinarski, 1989; Fischer & Lindenmayer, 2005), 其中鸟类的翅长、体重数据均参考《中国鸟类志》(赵正阶, 2001)。

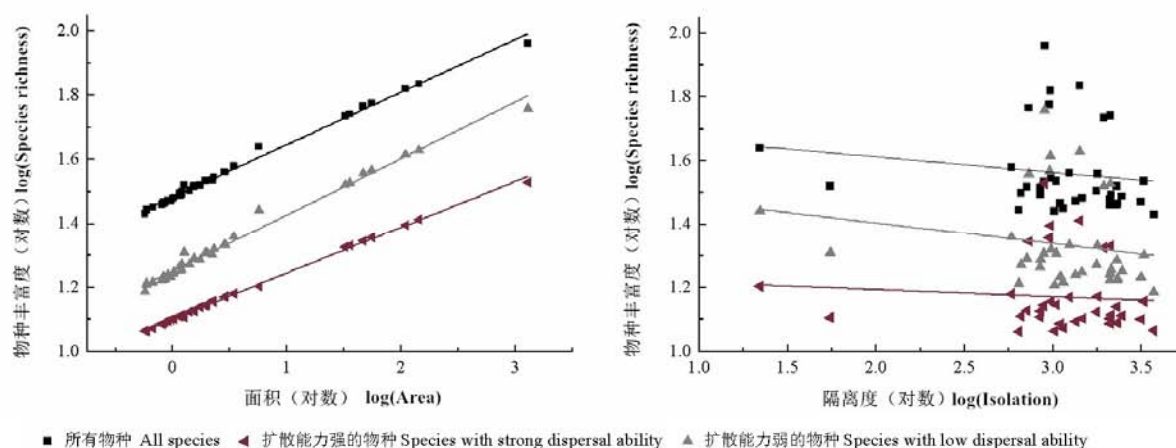


图2 三类物种丰富度与岛屿参数关系图

Fig. 2 The relationship of species richness of three kinds of bird group and island parameters

2.5 岛屿生物地理学参数

本研究使用以下生物地理学参数(Russell et al, 2006; Si et al, 2014):

迁入率(colonization rate, λ): 指物种 t 年时未出现在某一岛屿, 而 $t+1$ 年时出现在该岛并进行繁殖的概率。

灭绝率(extinction rate, μ): 指物种 t 年时在某一岛屿繁殖, 而 $t+1$ 年时未出现在该岛的概率。

观察灭绝率(observed extinction rate, δ): 指物种 t 年时在某一岛屿繁殖, 而 $t+1$ 年时却未出现在该岛, 且未发生营救效应(rescue effect), 即局部灭绝事件可能会被再迁入事件所掩盖(Brown & Kodric-Brown, 1977)的概率。因此, 可得 $\delta = \mu \times (1 - \lambda)$ 。

物种丰富度(species richness, S): 指某年某一岛屿上的物种数量。

周转率(turnover rate, T): 指 t 至 $t+1$ 年, 某岛屿迁入的物种数、观察到的灭绝物种数之和与两年间出现在该岛屿的物种数的比值。

2.6 数据分析

首先, 将鸟类物种的扩散能力大小与扩散能力中值进行比较, 比中值大的划分为扩散能力强(strong dispersal ability)的一类(附录2), 小于中值的则为扩散能力弱(low dispersal ability)的一类(附录3), 再进行数据的分析计算。

2.6.1 物种丰富度与岛屿参数关系

将物种丰富度分为3种: 总物种丰富度、扩散能力强的鸟类物种丰富度、扩散能力弱的鸟类物种丰

富度。主要的岛屿参数为岛屿面积和岛屿隔离度。对其分别进行对数转换后, 通过作图以及构建二元线性模型, 分析物种丰富度与岛屿参数之间的关系, 同时对不同扩散能力的鸟类物种丰富度与岛屿参数间关系进行斜率、系数、相关性等方面的对比研究。

2.6.2 模型构建

假设在 $t-1$ 年到 $t+1$ 年期间, 物种在某岛屿繁殖用P (presence)表示, 未繁殖用A (absence)表示, 则相邻两年内可能发生的周转事件可表示为: AA、AP、PA、PP, 对应的概率分别为 $1-\lambda$ 、 λ 、 δ 、 $1-\delta$ 。因为存在营救效应, 各周转事件并非相互独立, 需进行模型拟合。本文采用多变量逻辑斯蒂回归模型(multivariate logistic regression model)对岛屿参数(A , I)及系数(α_0 , α_1 , α_2 , β_0 , β_1 , β_2)进行拟合(Si et al, 2014)。

对于岛屿 i , 各周转事件的概率(probabilities, Pr)分别为:

$$Pr(AA) = 1 - \lambda_i \quad (1)$$

$$Pr(AP) = \lambda_i = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha_0 + \alpha_1 A_i + \alpha_2 I_i)}} \quad (2)$$

$$Pr(PA) = \delta_i = \mu_i \times (1 - \lambda_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 A_i + \beta_2 I_i)}} \times (1 - \lambda_i) \quad (3)$$

$$Pr(PP) = 1 - \delta_i \quad (4)$$

设岛屿 i 所有鸟类的各周转事件数(AA、AP、PA、PP)分别为 a_i 、 b_i 、 c_i 、 d_i , 对于数据整体而言, 该

似然函数(likelihood function, L)为:

$$L = \prod_{i=1}^n (1 - \lambda_i)^{a_i} \lambda_i^{b_i} \delta_i^{c_i} (1 - \delta_i)^{d_i} \quad (5)$$

利用最大似然法(maximum likelihood)对所有数据进行拟合, 即可求得模型各参数。

2.6.3 模型选择与多模型推断

推导所得似然函数含有4个回归参数 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 , 则共有16个备选模型。继而使用赤池信息准则(Akaike's Information Criterion, AIC)对模型进行选择。同时, 利用模型权重(model weighting, w)和模型平均(model averaging)对所有备选模型进行校正。

由于该方法选择的是所有备选模型中AIC值最小的模型, 容易忽略具有相似权重的备选模型, 从而产生偏差(Burnham & Anderson, 2002), 因此需要继续采用模型平均法(如下步骤)进行进一步的模型推断。

置信模型集的确定: 按照AIC值大小将所有备选模型进行排序, 再将模型权重 w_i 累积相加, 直至其恰好大于0.95; 或者, 选择所有 ΔAIC 值小于2 (即模型权重类似)的备选模型(Anderson, 2008)。

岛屿参数相对重要值的计算: 分别对含有岛屿参数 A 、 I 的所有模型的权重值进行相加, 即可得到岛屿参数 A 、 I 的相对重要值(Burnham & Anderson, 2002)。

生物地理学参数的计算: 需使用的生物地理学参数包括迁入率(λ)和观察灭绝率(δ), 应分别计算包含两者的模型中权重 w_i 的加权平均, 公式如下:

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^R w_i \hat{Y}_i \quad (6)$$

其中, \hat{Y} 为加权平均的预测值, \hat{Y}_i 为模型 i 的预测值。通过计算加权平均后的迁入率(λ)和观察灭绝率(δ), 即可进一步计算出周转率的值。

模型平均后的预测回归系数: 计算包含该系数的模型中权重 w_i 的加权平均。

本文的统计分析均使用R语言(R Development Core Team, 2014), 及maxLik包(Toomet & Henningsen, 2012)、MuMIn包(Bartoń, 2013)、vegan包(Oksanen et al, 2014)进行。

3 结果

3.1 物种丰富度与岛屿参数的关系

鸟类物种总丰富度、扩散能力强的鸟类物种丰富度、扩散能力弱的鸟类物种丰富度都随着岛屿面积的增加而增加, 符合种-面积关系曲线(species-area relationship, SAR) (Arrhenius, 1921; Scheiner, 2003)。由图2, 表2可知, 随着岛屿面积增大, 扩散能力弱的鸟类物种丰富度增加的速度快于扩散能力强的鸟类。

同时, 鸟类物种总丰富度、扩散能力强的鸟类物种丰富度、扩散能力弱的鸟类物种丰富度都随着岛屿隔离度的增加而减少(图2, 表2)。其中, 减少最快的是扩散能力弱的鸟类, 其次是所有鸟类物种, 而扩散能力强的鸟类物种丰富度下降的速率较为缓慢。

3.2 不同扩散能力鸟类的生物地理学参数

由于岛屿是根据面积从大到小进行排序编号, 由图3和表3可知, 对于扩散能力强的鸟类, 迁入率随着面积的增大而增大, 灭绝率对面积变化的敏感度远不如迁入率, 物种周转率随面积的增加而小幅度减小。

扩散能力弱的鸟类的迁入率随着面积的增大而增大, 灭绝率随着面积的减小而迅速上升, 物种周转率随面积的增加呈倍数性减小。

3.3 模型选择结果与岛屿地理参数的相对重要值

对于扩散能力强的鸟类, 由AIC值确定的最优模型仅包括面积, 不包括隔离度(附录4)。面积对于迁入率的相对重要值为1, 对于灭绝率的相对重要值为0.63; 隔离度对于迁入率的相对重要值为0.27, 对于灭绝率的相对重要值为0.31 (表4)。

对于扩散能力弱的鸟类, 由AIC值确定的最优模型也仅包括面积, 不包括隔离度(附录5)。面积对于迁入率和灭绝率的相对重要值皆为1; 隔离度对于迁入率的相对重要值为0.44, 对于灭绝率的相对重要值为0.38 (表4)。

4 讨论

4.1 物种丰富度

岛屿生物地理学理论预测面积越大、隔离度越小的岛屿将会拥有更多的物种(Diamond, 1975; Burns & Neufeld, 2009)。我们的结果显示, 无论是

表2 三类物种丰富度与岛屿参数关系
Table 2 Relationship of species richness of three kinds of bird group and island parameters

物种丰富度 Species richness	系数 Coefficient				
	面积 Area	隔离度 Isolation	截距 Intercept	R^2	F
鸟类物种 All birds	0.699***	-0.140	39.548***	0.534	18.896***
扩散能力强的鸟类 Birds with strong dispersal ability	0.709***	-0.097	15.408***	0.530	18.606***
扩散能力弱的鸟类 Birds with low dispersal ability	0.693***	-0.163	24.140***	0.536	19.053***

*** $P < 0.001$

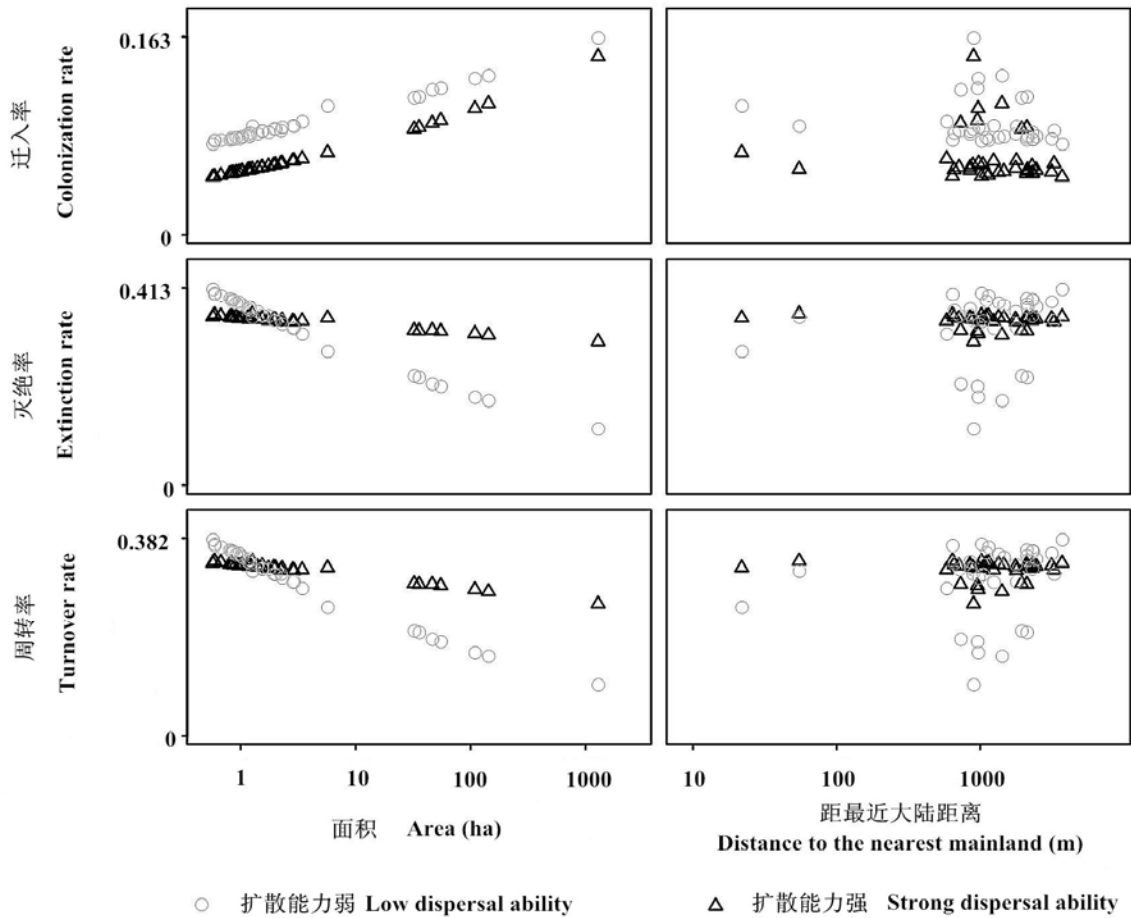


图3 千岛湖36个岛屿繁殖鸟类生物地理学参数预测结果
Fig. 3 Predicted biogeographical parameters of breeding birds on 36 studied islands in the Thousand Island Lake

总物种丰富度，还是根据扩散能力分类后的物种丰富度，都随着面积的增大而明显地增加，且都随着隔离度的增加而缓慢减小，故支持岛屿生物地理学理论的预测。同时，该结果与此前有关千岛湖鸟类种-面积关系的所有研究结论亦保持一致，比如，张竞成等(2008)研究得到千岛湖雀形目鸟类物种丰富度与岛屿面积呈显著线性正相关；Wang等(2012)

利用4种回归模型对千岛湖鸟类物种的种-面积关系进行研究，发现任一模型中鸟类物种丰富度皆随面积增大而增大；Si等(2014)发现千岛湖繁殖鸟类物种丰富度与岛屿面积呈正相关关系。然而，以往关于岛屿隔离度对物种丰富度影响的研究却有不

符合岛屿生物地理学理论预测的例外，如李必成(2007)的研究表示体型较小和中等的鸟类物种丰富

表3 千岛湖36个岛屿不同扩散能力繁殖鸟类生物地理学参数预测结果
Table 3 Predicted biogeographical parameters of breeding birds on 36 studied islands in the Thousand Island Lake

岛屿 Island	迁入率		灭绝率		周转率		物种丰富度	
	Colonization rate (λ)		Extinction rate (μ)		Turnover rate (T)		Species richness (S)	
	强 Strong	弱 Low	强 Strong	弱 Low	强 Strong	弱 Low	强 Strong	弱 Low
1	0.146	0.163	0.300	0.120	0.256	0.101	33.85	57.41
2	0.108	0.132	0.313	0.179	0.280	0.156	25.88	42.62
3	0.104	0.129	0.316	0.187	0.283	0.162	24.91	41.26
4	0.094	0.121	0.321	0.209	0.291	0.184	22.72	37.02
5	0.092	0.120	0.323	0.214	0.293	0.188	22.15	36.24
6	0.088	0.115	0.322	0.227	0.294	0.201	21.50	33.72
7	0.087	0.114	0.323	0.231	0.295	0.204	21.19	33.23
8	0.068	0.107	0.349	0.282	0.325	0.252	15.99	27.74
9	0.063	0.094	0.343	0.318	0.321	0.288	15.15	22.90
10	0.061	0.090	0.341	0.331	0.320	0.301	14.88	21.46
11	0.061	0.091	0.342	0.330	0.321	0.300	14.79	21.60
12	0.059	0.089	0.344	0.339	0.324	0.309	14.30	20.90
13	0.059	0.087	0.341	0.346	0.321	0.316	14.36	20.05
14	0.058	0.088	0.345	0.345	0.325	0.315	14.01	20.33
15	0.057	0.085	0.346	0.346	0.326	0.316	13.92	20.29
16	0.056	0.087	0.344	0.356	0.325	0.326	13.79	19.32
17	0.055	0.086	0.348	0.356	0.329	0.325	13.42	19.57
18	0.055	0.084	0.348	0.358	0.329	0.327	13.41	19.41
19	0.055	0.090	0.346	0.365	0.327	0.334	13.31	18.69
20	0.054	0.085	0.357	0.353	0.338	0.321	12.78	20.41
21	0.053	0.082	0.350	0.368	0.332	0.337	12.91	18.70
22	0.053	0.082	0.347	0.373	0.328	0.343	13.01	18.04
23	0.053	0.082	0.347	0.375	0.328	0.345	12.97	17.87
24	0.053	0.084	0.350	0.371	0.331	0.340	12.84	18.41
25	0.052	0.082	0.349	0.379	0.331	0.348	12.67	17.72
26	0.052	0.081	0.348	0.382	0.330	0.351	12.66	17.46
27	0.052	0.080	0.348	0.386	0.330	0.355	12.60	17.08
28	0.051	0.081	0.350	0.385	0.332	0.353	12.42	17.35
29	0.051	0.080	0.349	0.390	0.332	0.359	12.36	16.88
30	0.051	0.079	0.350	0.392	0.332	0.361	12.29	16.77
31	0.051	0.081	0.352	0.388	0.334	0.357	12.22	17.15
32	0.050	0.079	0.350	0.393	0.333	0.362	12.21	16.70
33	0.049	0.079	0.353	0.399	0.336	0.368	11.82	16.45
34	0.048	0.079	0.356	0.402	0.339	0.371	11.54	16.34
35	0.048	0.078	0.355	0.405	0.338	0.373	11.58	16.11
36	0.048	0.076	0.351	0.413	0.334	0.382	11.62	15.37

度与岛屿隔离度无关,产生该结果的原因或许是因为其调查岛屿的隔离度变化范围较窄,不足以引起物种丰富度的改变(Watling & Donnelly, 2006),或者体型较小的鸟类物种对隔离度不敏感(Bellamy et al, 1996)。尽管如此,鸟类体型对岛屿隔离度与物种丰富度关系存在影响的结论却与本研究相类似。

通过扩散能力不同的鸟类物种的结果对比,我

们发现扩散能力弱的鸟类物种丰富度随面积增加而增加的速率大于扩散能力强的鸟类,且高于所有鸟类物种丰富度的增速水平。该结果表明,面积对扩散能力弱的鸟类物种更为重要,因为面积越小,岛屿上的生存资源就相对越少(Laurance, 2008; LaManna et al, 2015),而由于扩散能力的限制,面积较小的岛屿上扩散能力弱的鸟类生存概率也越

表4 岛屿地理参数的相对重要值与不同扩散能力的鸟类模型平均后的迁入率和灭绝率的系数估计

Table 4 Relative importance and weighted average parameter estimates for area and isolation as predictors of colonization (α) and extinction (β) rates across 36 islands

岛屿参数 Island parameter	迁入率 Colonization rate				灭绝率 Extinction rate			
	重要值 Importance		α		重要值 Importance		β	
	强 Strong	弱 Low	强 Strong	弱 Low	强 Strong	弱 Low	强 Strong	弱 Low
面积 Area	1.00	1.00	0.159 \pm 0.050*	0.107 \pm 0.049*	0.63	1.00	-0.053 \pm 0.060	-0.208 \pm 0.058*
隔离度 Isolation	0.27	0.44	-0.002 \pm 0.103	-0.057 \pm 0.091	0.31	0.38	-0.042 \pm 0.129	0.055 \pm 0.109

* $P < 0.05$.

小, 即不同鸟类物种存在不同的适宜生存的面积阈值(Spengler et al, 2011)。

我们同时发现, 扩散能力弱的鸟类物种丰富度随隔离度增加而减少的速率远远大于扩散能力强的鸟类, 这说明对于扩散能力强的鸟类, 隔离度并不能对其造成显著影响(Spengler et al, 2011)。千岛湖所有调查岛屿距大陆直线距离的最大值为3,712 m, 该距离对大多数扩散能力强的鸟类而言可能并不存在地理隔离障碍(Si et al, 2014)。而对于扩散能力弱的鸟类, 如强脚树莺(*Cettia fortipes*)、白腰文鸟(*Lonchura striata*)等, 隔离度达到一定距离之后, 确实会对其产生扩散限制作用。这与Heiser等(2014)的研究不谋而合: 水域距离对不同扩散能力的物种产生了筛选作用, 扩散能力强的物种可以跨越该距离, 而扩散能力弱的物种则被该距离所限制。在3种不同的隔离度计算方法中, 产生的格局均类似, 也印证了该结论。

4.2 迁入率与灭绝率

根据计算结果, 面积对扩散能力强的物种迁入率、扩散能力弱的物种迁入率和灭绝率的相对重要值均为1, 说明面积是影响鸟类迁入—灭绝动态的重要因素, 对扩散能力强的物种迁入率、扩散能力弱的物种迁入率及灭绝率都至关重要。

面积对扩散能力弱的物种灭绝率的相对重要值大幅度高于扩散能力强的鸟类物种, 说明面积对于扩散能力弱的物种的灭绝率是决定性的, 但是对于扩散能力强的物种并非决定性因素。其原因可能是面积小的岛屿只能支持较少的物种(Burns & Neufeld, 2009), 扩散能力弱的物种若无法在所处岛屿继续生存, 扩散能力又有限制, 则可能造成灭绝率的上升。

隔离度对扩散能力弱的物种迁入率的相对重要值接近扩散能力强的物种的两倍, 说明隔离度对扩散能力弱的物种的迁入限制较大(Spengler et al,

2011), 表明部分岛屿的隔离度可能已经超过扩散能力弱的物种的扩散能力范围。

同时, 隔离度对扩散能力不同的鸟类物种的迁入率、灭绝率的影响均不如面积对其影响显著, 可能是因为目前仍没有统一完善的计算生物学上的隔离度的方法(Lomolino, 1996)。本研究所采用的隔离度是指岛屿距最近大陆的直线距离, 而千岛湖岛屿林立, 岛屿边缘间的复杂布局很可能会影响该方法计算出的隔离度的生物学意义(Si et al, 2014)。

4.3 周转率

陆生动植物的周转率一般在10%以内(Schoener, 1983; Diamond & May, 1997; Panitsa et al, 2008), 本研究得到的扩散能力不同的鸟类物种周转率均高于30% (分别为32.1%和30.4%), 说明千岛湖繁殖鸟类的周转率大幅度高于一般动植物的周转水平。该结果产生的原因或可归纳为以下两点: 一是千岛湖岛屿植被在建造新安江大坝之前进行过全面的砍伐, 目前仍处于次生演替阶段(Si et al, 2014), 且马尾松作为优势种所占据的比例较高, 整体生境类型不够丰富, 这些因素均可能导致物种因为无法获取适宜生存条件而增加岛屿间的转移或提高灭绝率(Russell et al, 2006); 二是千岛湖属于陆桥岛屿系统, 可能会存在“物种释放”(species relaxation)的过程(Laurance, 2008), 即随时间发展物种会发生缓慢丧失的现象(Mikkelsen, 1993), 导致灭绝率上升, 从而提高周转率。

对于不同扩散能力的鸟类, 扩散能力强的物种周转率高于扩散能力弱的物种周转率, 可能有以下两种解释: (1)扩散能力强的物种受到扩散限制的影响相对较小(Spengler et al, 2011), 因此当所处岛屿无法满足其需求时即可转移至其他岛屿, 而扩散能力弱的物种则由于受到距离限制而难以转移(Burns & Neufeld, 2009); (2)根据最佳觅食理论(optimal forage theory), 岛屿间的转移对于扩散能力弱的鸟

类所需代价较大, 这使其倾向于选择留在原地 (Russell et al, 2006)。

5 结论

千岛湖繁殖鸟类物种丰富度随面积、隔离度的变化符合岛屿生物地理学理论的预测: 扩散能力弱的物种丰富度更易受岛屿面积与隔离度的影响; 岛屿面积对不同扩散能力的鸟类的迁入率、扩散能力弱的鸟类的灭绝率影响程度皆大, 而隔离度对扩散能力弱的鸟类影响相对较大; 扩散能力强的鸟类物种较扩散能力弱的鸟类物种具有更高的周转率。因此, 鸟类扩散能力影响其物种丰富度、迁入率、灭绝率和周转率, 从而进一步影响其群落动态。

致谢: 浙江省淳安县林业局和千岛湖国家森林公园管理部门对研究给予支持, 当地渔民为本研究提供了合作与帮助, 特此致谢!

参考文献

- Anderson DR (2008) Model-Based Inference in the Life Sciences: a Primer on Evidence. Springer-Verlag, New York.
- Aranda SC, Gabriel R, Borges PA, Santos A, Hortal J, Baselga A, Lobo JM (2013) How do different dispersal modes shape the species–area relationship? Evidence for between-group coherence in the Macaronesian flora. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 483–493.
- Arrhenius O (1921) Species and area. *Journal of Ecology*, 9, 95–99.
- Bartoń K (2013) MuMIn: multi-model inference. <http://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>. (accessed on 2015-12-06)
- Bellamy RE, Hinsley SA, Newton I (1996) Factors influencing bird species number in small woods in south-east England. *Journal of Applied Ecology*, 33, 249–262.
- Brown JH, Kodric-Brown A (1977) Turnover rates in insular biogeography: effect of immigration on extinction. *Ecology*, 58, 445–449.
- Burnham KP, Anderson DR (2002) Model Selection and Multi-model Inference: A Practical Information-theoretic Approach, 2nd edn. Springer-Verlag, New York.
- Burns KC, Neufeld CJ (2009) Plant extinction dynamics in an insular metacommunity. *Oikos*, 118, 191–198.
- Cody ML (2006) Plants on Islands: Diversity and Dynamics on a Continental Archipelago. University of California Press, Oakland.
- Diamond JM (1969) Avifaunal equilibria and species turnover rates on the Channel Islands of California. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 64, 57–63.
- Diamond JM (1975) The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation*, 7, 129–146.
- Diamond JM, Marshall AG (1977) Distributional ecology of New Hebridean birds: a species kaleidoscope. *Journal of Animal Ecology*, 46, 703–727.
- Diamond JM, May RM (1977) Species turnover rates on islands: dependence on census interval. *Science*, 197, 266–270.
- Drakare S, Lennon JJ, Hillebrand H (2006) The imprint of the geographical, evolutionary and ecological context on species–area relationships. *Ecology Letters*, 9, 215–227.
- Fischer J, Lindenmayer DB (2005) Nestedness in fragmented landscapes: a case study on birds, arboreal marsupials and lizards. *Journal of Biogeography*, 32, 1737–1750.
- Foufopoulos J, Mayer GC (2007) Turnover of passerine birds on islands in the Aegean Sea (Greece). *Journal of Biogeography*, 34, 1113–1123.
- Franzén M, Schweiger O, Betzholtz PE (2012) Species–area relationships are controlled by species traits. *PLoS ONE*, 7, e37359.
- Gaston KJ (2003) The Structure and Dynamics of Geographic Ranges. Oxford University Press, Oxford.
- Heiser M, Dapporto L, Schmitt T (2014) Coupling impoverishment analysis and partitioning of beta diversity allows a comprehensive description of Odonata biogeography in the Western Mediterranean. *Organisms Diversity & Evolution*, 14, 203–214.
- Husté A, Boulinier T (2007) Determinants of local extinction and turnover rates in urban bird communities. *Ecological Applications*, 17, 168–180.
- Kisel Y, McInnes L, Toomey NH, Orme CDL (2011) How diversification rates and diversity limits combine to create large-scale species–area relationships. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366, 2514–2525.
- Krauss J, Steffan-Dewenter I, Tscharnkte T (2003) Local species immigration, extinction, and turnover of butterflies in relation to habitat area and habitat isolation. *Oecologia*, 137, 591–602.
- LaManna JA, Hemenway AB, Boccadori V, Martin TE (2015) Bird species turnover is related to changing predation risk along a vegetation gradient. *Ecology*, 96, 1670–1680.
- Laurance WF (2008) Theory meets reality: how habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological Conservation*, 141, 1731–1744.
- Li BC (2007) Occurrence Patterns of Bird Community and Breeding Ecology of White-eared Night-heron (*Gorsachius magnificus*) in Thousand Island Lake, China. PhD dissertation, Zhejiang University, Hangzhou. (in Chinese with English abstract) [李必成 (2007) 千岛湖岛屿鸟类多样性格局与海南鸛繁殖生态学研究. 博士学位论文, 浙江大学, 杭州.]
- Lomolino MV (1996) Investigating causality of nestedness of insular communities: selective immigrations or extinc-

- tions? *Journal of Biogeography*, 23, 699–703.
- Losos JB, Ricklefs RE (2010) *The Theory of Island Biogeography Revisited*. Princeton University Press, Princeton.
- Lowry E, Lester SE (2006) The biogeography of plant reproduction: potential determinants of species' range sizes. *Journal of Biogeography*, 33, 1975–1982.
- MacArthur RH, Wilson EO (1963) An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, 17, 373–387.
- MacArthur RH, Wilson EO (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Manne LL, Pimm SL, Diamond JM, Reed TM (1998) The form of the curves: a direct evaluation of MacArthur & Wilson's classic theory. *Journal of Animal Ecology*, 67, 784–794.
- Mikkelsen GM (1993) How do food webs fall apart? A study of changes in trophic structure during relaxation on habitat fragments. *Oikos*, 67, 539–547.
- Morrison LW (2010) Disequilibrium island turnover dynamics: a 17-year record of Bahamian ants. *Journal of Biogeography*, 37, 2148–2157.
- Nilsson IN, Nilsson SG (1982) Turnover of vascular plant species on small islands in Lake Möckeln, South Sweden 1976–1980. *Oecologia*, 53, 128–133.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H (2014) *Vegan: Community Ecology Package*. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. (accessed on 2015-12-06)
- Panitsa M, Tzanoudakis D, Sfenthourakis S (2008) Turnover of plants on small islets of the eastern Aegean Sea within two decades. *Journal of Biogeography*, 35, 1049–1061.
- Patiño J, Weigelt P, Guilhaumon F, Kreft H, Triantis KA, Naranjo-Cigala A, Solymos P, Vanderpoorten A (2014) Differences in species–area relationships among the major lineages of land plants: a macroecological perspective. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 1275–1283.
- Pitta E, Kassara C, Tzanatos E, Giokas S, Sfenthourakis S (2014) Between-island compositional dissimilarity of avian communities. *Ecological Research*, 29, 835–841.
- R Development Core Team (2014) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <http://www.r-project.org>. (accessed on 2015-12-06)
- Ricklefs RE, Renner SS (2012) Global correlations in tropical tree species richness and abundance reject neutrality. *Science*, 335, 464–467.
- Rosenzweig ML (1995) *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Russell GJ, Diamond JM, Reed TM, Pimm SL (2006) Breeding birds on small islands: island biogeography or optimal foraging? *Journal of Animal Ecology*, 75, 324–339.
- Scheiner SM (2003) Six types of species–area curves. *Global Ecology and Biogeography*, 12, 441–447.
- Schoener TW (1983) Rate of species turnover decreases from lower to higher organisms: a review of the data. *Oikos*, 41, 372–377.
- Si X, Baselga A, Leprieux F, Song X, Ding P (2016) Selective extinction drives taxonomic and functional alpha and beta diversities in island bird assemblages. *Journal of Animal Ecology*, 85, 409–418.
- Si X, Pimm SL, Russell GJ, Ding P (2014) Turnover of breeding bird communities on islands in an inundated lake. *Journal of Biogeography*, 41, 2283–2292.
- Spengler A, Hartmann P, Buchori D, Schulze CH (2011) How island size and isolation affect bee and wasp ensembles on small tropical islands: a case study from Kepulauan Seribu, Indonesia. *Journal of Biogeography*, 38, 247–258.
- Toomet O, Henningsen A (2012) *MaxLik: Maximum Likelihood Estimation*. <http://CRAN.R-project.org/package=maxLik>. (accessed on 2015-12-06)
- Wang Y, Bao Y, Yu M, Xu G, Ding P (2010) Nestedness for different reasons: the distributions of birds, lizards and small mammals on islands of an inundated lake. *Diversity and Distributions*, 16, 862–873.
- Wang Y, Chen S, Ding P (2011) Testing multiple assembly rule models in avian communities on islands of an inundated lake, Zhejiang Province, China. *Journal of Biogeography*, 38, 1330–1344.
- Wang Y, Zhang J, Feeley KJ, Jiang P, Ding P (2009) Life-history traits associated with fragmentation vulnerability of lizards in the Thousand Island Lake, China. *Animal Conservation*, 12, 329–337.
- Wang Y, Zhang M, Wang S, Ding Z, Zhang J, Sun J, Li P, Ding P (2012) No evidence for the small-island effect in avian communities on islands of an inundated lake. *Oikos*, 121, 1945–1952.
- Watling JI, Donnelly MA (2006) Fragments as islands: a synthesis of faunal responses to habitat patchiness. *Conservation Biology*, 20, 1016–1025.
- Whittaker RJ, Fernández-Palacios JM (2007) *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation*, 2nd edn. Oxford University Press, Oxford.
- Woinarski JCZ (1989) Some life history comparisons of small leaf-gleaning bird species of south-eastern Australia. *Corella*, 13, 73–80.
- Zhang JC, Wang YP, Jiang PP, Li P, Yu MJ, Ding P (2008) Nested analysis of passeriform bird assemblages in the Thousand Island Lake region. *Biodiversity Science*, 16, 321–331. (in Chinese with English abstract) [张竞成, 王彦平, 蒋萍萍, 李鹏, 于明坚, 丁平 (2008) 千岛湖雀形目鸟类群落嵌套结构分析. *生物多样性*, 16, 321–331.]
- Zhao ZJ (2001) *A Handbook of the Birds of China*. Jilin Science and Technology Press, Changchun. (in Chinese) [赵正阶 (2001) *中国鸟类志*. 吉林科学技术出版社, 长春.]

(责任编辑: 李义明 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 千岛湖36个岛屿繁殖鸟类生物地理学参数计算结果

Appendix 1 Predicted biogeographical parameters of breeding birds on 36 studied islands in the Thousand Island Lake, China
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016209-1.pdf>

附录2 千岛湖扩散能力强的鸟类物种名录

Appendix 2 The list of birds with strong dispersal ability in the Thousand Island Lake, China
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016209-2.pdf>

附录3 千岛湖扩散能力弱的鸟类物种名录

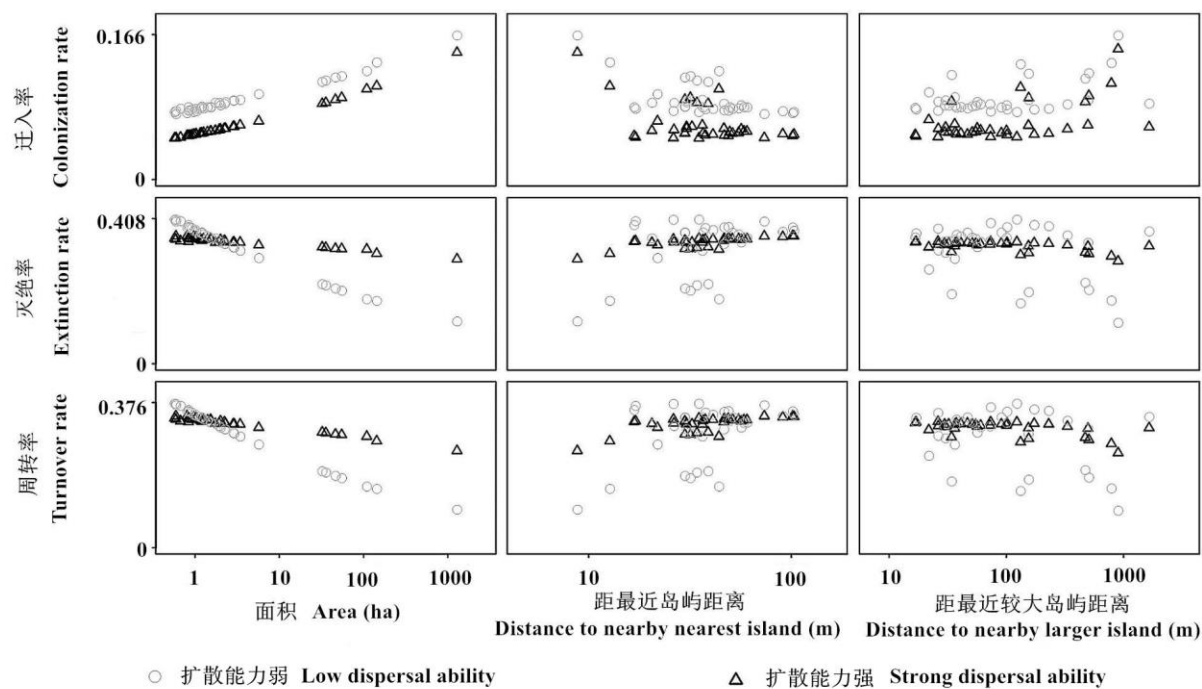
Appendix 3 The list of birds with low dispersal ability in the Thousand Island Lake, China
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016209-3.pdf>

附录4 36个岛屿扩散能力强的繁殖鸟类基于 ΔAIC 的迁入率和灭绝率的备选模型与模型选择结果

Appendix 4 All candidate models for predicting colonization and extinction rates of birds with strong dispersal ability simultaneously according to ΔAIC on 36 islands
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016209-4.pdf>

附录5 36个岛屿扩散能力弱的繁殖鸟类基于 ΔAIC 的迁入率和灭绝率的备选模型与模型选择结果

Appendix 5 All candidate models for predicting colonization and extinction rates of birds with low dispersal ability simultaneously according to ΔAIC on 36 islands
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016209-5.pdf>



附录1 千岛湖36个岛屿繁殖鸟类生物地理学参数计算结果
Appendix 1 Predicted biogeographical parameters of breeding birds on 36 studied islands in the Thousand Island Lake, China

吴奕如, 斯幸峰, 陈传武, 曾頔, 赵郁豪, 李家琦, 丁平. 千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力差异对群落动态的影响. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1143–1153.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016209>

附录2 千岛湖扩散能力强的鸟类物种名录

Appendix 2 The list of birds with strong dispersal ability in the Thousand Island Lake, China

物种 Species	体重 Mass (g)	翅长 Length of the wing (mm)	扩散能力 Dispersal ability
红尾伯劳 <i>Lanius cristatus</i>	33.00	87.50	27.28
珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	161.25	149.75	27.51
大山雀 <i>Parus major</i>	14.33	67.50	27.79
黄腹山雀 <i>Parus venustulus</i>	11.30	62.40	27.81
棕脸鹟莺 <i>Abroscopus albogularis</i>	4.25	46.00	28.40
丝光椋鸟 <i>Sturnus sericeus</i>	75.00	120.00	28.46
小黑领噪鹛 <i>Garrulax monileger</i>	82.00	124.50	28.66
黑领椋鸟 <i>Gracupica nigricollis</i>	159.75	159.25	29.35
栗背短脚鹬 <i>Hemixos castanonotus</i>	39.00	99.75	29.41
金翅雀 <i>Carduelis sinica</i>	18.25	77.80	29.55
白额燕尾 <i>Enicurus leschenaulti</i>	45.75	107.00	29.92
灰树鹊 <i>Dendrocitta formosae</i>	97.50	141.75	30.80
大斑啄木鸟 <i>Dendrocopos major</i>	69.13	127.25	31.01
山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>	242.50	193.75	31.07
绿翅短脚鹬 <i>Hypsipetes maclellandii</i>	39.00	106.13	31.29
灰喉山椒鸟 <i>Pericrocotus solaris</i>	16.50	80.25	31.52
黑短脚鹬 <i>Hypsipetes leucocephalus</i>	53.75	119.25	31.60
小灰山椒鸟 <i>Pericrocotus cantonensis</i>	21.00	88.50	32.08
乌鸫 <i>Turdus merula</i>	96.50	149.00	32.48
喜鹊 <i>Pica pica</i>	221.50	202.00	33.39
松鸦 <i>Garrulus glandarius</i>	155.00	181.75	33.83
噪鹛 <i>Eudynamys scolopacea</i>	211.75	202.75	34.02
红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	176.75	191.75	34.17
星头啄木鸟 <i>Dendrocopos canicapillus</i>	26.75	104.75	35.03
灰卷尾 <i>Dicrurus leucophaeus</i>	50.25	140.25	38.01
黑卷尾 <i>Dicrurus macrocercus</i>	51.00	141.00	38.02
发冠卷尾 <i>Dicrurus hottentottus</i>	87.50	169.25	38.12
四声杜鹃 <i>Cuculus micropterus</i>	118.50	198.50	40.41
金腰燕 <i>Cecropis daurica</i>	23.50	118.00	41.20
小杜鹃 <i>Cuculus poliocephalus</i>	57.75	159.75	41.33
中杜鹃 <i>Cuculus saturatus</i>	104.25	200.00	42.50
家燕 <i>Hirundo rustica</i>	17.75	111.00	42.55
大杜鹃 <i>Cuculus canorus</i>	119.75	213.25	43.26
普通夜鹰 <i>Caprimulgus indicus</i>	94.75	206.00	45.19

吴奕如, 斯幸峰, 陈传武, 曾頔, 赵郁豪, 李家琦, 丁平. 千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力差异对群落动态的影响. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1143–1153.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016209>

附录3 千岛湖扩散能力弱的鸟类物种名录

Appendix 3 The list of birds with low dispersal ability in the Thousand Island Lake, China

物种 Species	体重 Mass (g)	翅长 Length of the wing (mm)	扩散能力 Dispersal ability
灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracicus</i>	277.25	125.75	19.28
环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i>	1,196.00	222.00	20.91
棕褐短翅莺 <i>Bradypterus luteoventris</i>	12.75	51.00	21.83
纯色山鹧鸪 <i>Prinia inornata</i>	9.00	46.38	22.29
白腰文鸟 <i>Lonchura striata</i>	12.00	51.18	22.35
斑文鸟 <i>Lonchura punctulata</i>	14.25	54.45	22.46
斑胸钩嘴鹛 <i>Pomatorhinus erythrocnemis</i>	61.25	90.00	22.83
白鹇 <i>Lophura nycthemera</i>	1,491.25	261.75	22.91
画眉 <i>Garrulax canorus</i>	60.50	90.50	23.05
灰翅噪鹛 <i>Garrulax cineraceus</i>	50.25	86.00	23.31
红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i>	22.50	67.00	23.73
棕扇尾莺 <i>Cisticola juncidis</i>	8.50	48.75	23.89
红头穗鹛 <i>Stachyris ruficeps</i>	9.75	51.50	24.11
斑姬啄木鸟 <i>Picumnus innominatus</i>	13.50	57.50	24.15
强脚树莺 <i>Cettia fortipes</i>	10.25	52.50	24.17
暗绿绣眼鸟 <i>Zosterops japonicus</i>	11.00	54.00	24.28
棕背伯劳 <i>Lanius schach</i>	67.75	100.25	24.59
灰眶雀鹛 <i>Alcippe morrisonia</i>	17.00	63.25	24.60
麻雀 <i>Passer montanus</i>	20.18	67.25	24.70
棕颈钩嘴鹛 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	26.00	73.25	24.73
黑脸噪鹛 <i>Garrulax perspicillatus</i>	118.00	121.50	24.77
棕头鸦雀 <i>Paradoxornis webbianus</i>	8.50	50.75	24.87
大拟啄木鸟 <i>Megalaima virens</i>	187.50	143.00	24.98
黑领噪鹛 <i>Garrulax pectoralis</i>	146.75	132.50	25.12
栗耳凤鹛 <i>Yuhina castaniceps</i>	12.75	58.75	25.15
山麻雀 <i>Passer rutilans</i>	20.25	68.83	25.25
领雀嘴鹛 <i>Spizixos semitorques</i>	42.25	89.75	25.77
红头长尾山雀 <i>Aegithalos concinnus</i>	6.25	47.75	25.92
灰头鸦雀 <i>Paradoxornis gularis</i>	28.00	80.25	26.43
红尾水鹩 <i>Rhyacornis fuliginosa</i>	21.00	73.50	26.64
白头鹎 <i>Pycnonotus sinensis</i>	34.00	86.75	26.78
三道眉草鹀 <i>Emberiza cioides</i>	23.88	77.25	26.83
黄臀鹎 <i>Pycnonotus xanthorrhous</i>	34.25	87.75	27.02
凤头鹀 <i>Melophus lathami</i>	25.50	80.25	27.26

吴奕如, 斯幸峰, 陈传武, 曾頔, 赵郁豪, 李家琦, 丁平. 千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力差异对群落动态的影响. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1143–1153.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016209>

附录4 36个岛屿扩散能力强的繁殖鸟类迁入率和灭绝率的备选模型与模型选择结果

Appendix 4 All candidate models for predicting colonization and extinction rates of birds with strong dispersal ability simultaneously according to ΔAIC on 36 islands

模型 Models	对数似然系数 Log(L)	模型中的参数个数 K	与最小AIC模型值差值 ΔAIC	权重 w	逻辑斯蒂回归的迁入率系数 a_0 a_1 a_2			逻辑斯蒂回归的灭绝率系数 β_0 β_1 β_2			各系数标准误差 Se(a_0) Se(a_1) Se(a_2) Se(β_0) Se(β_1) Se(β_2)					
Ac, Ae	-2,138.75	4	0.00	0.31	-2.901	0.157	—	-0.586	-0.053	—	0.065	0.026	—	0.081	0.031	—
Ac	-2,140.25	3	0.98	0.19	-2.907	0.163	—	-0.669	—	—	0.065	0.025	—	0.066	—	—
Ac, Ae, Ie	-2,138.53	5	1.55	0.14	-2.901	0.157	—	-0.281	-0.054	-0.044	0.064	0.026	—	0.458	0.031	0.065
Ac, Ic, Ae	-2,138.75	5	2.00	0.12	-2.895	0.157	-0.001	-0.586	-0.053	—	0.364	0.026	0.051	0.081	0.031	—
Ac, Ie	-2,140.08	4	2.66	0.08	-2.907	0.163	—	-0.411	—	-0.037	0.064	0.025	—	0.492	—	0.070
Ac, Ic	-2,140.25	4	2.98	0.07	-2.905	0.163	0.000	-0.669	—	—	0.380	0.025	0.053	0.066	—	—
Ac, Ic, Ae, Ie	-2,138.52	6	3.54	0.05	-2.874	0.157	-0.004	-0.279	-0.054	-0.044	0.382	0.026	0.053	0.453	0.031	0.064
Ac, Ic, Ie	-2,140.08	5	4.65	0.03	-2.888	0.163	-0.003	-0.409	—	-0.038	0.409	0.026	0.057	0.424	—	0.061
Ae	-2,155.66	3	31.81	0.00	-2.712	—	—	-0.567	-0.071	—	0.053	—	—	0.082	0.030	—
Ae, Ie	-2,155.42	4	33.34	0.00	-2.712	—	—	-0.258	-0.072	-0.044	0.053	—	—	0.463	0.030	0.066
Ic, Ae	-2,155.50	4	33.50	0.00	-2.506	—	-0.029	-0.567	-0.071	—	0.360	—	0.051	0.082	0.030	—
Ic, Ae, Ie	-2,155.23	5	34.96	0.00	-2.484	—	-0.032	-0.234	-0.072	-0.048	0.352	—	0.050	0.487	0.030	0.069
—	-2,158.55	2	35.60	0.00	-2.712	—	—	-0.686	—	—	0.053	—	—	0.066	—	—
Ic	-2,158.39	3	37.27	0.00	-2.502	—	-0.030	-0.685	—	—	0.374	—	0.053	0.066	—	—
Ie	-2,158.40	3	37.29	0.00	-2.712	—	—	-0.437	—	-0.036	0.053	—	—	0.457	—	0.065
Ic, Ie	-2,158.21	4	38.92	0.00	-2.485	—	-0.032	-0.415	—	-0.039	0.344	—	0.049	0.456	—	0.065

吴奕如, 斯幸峰, 陈传武, 曾頔, 赵郁豪, 李家琦, 丁平. 千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力差异对群落动态的影响. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1143–1153.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016209>

附录5 36个岛屿扩散能力弱的繁殖鸟类迁入率和灭绝率的备选模型与模型选择结果

Appendix 5 All candidate models for predicting colonization and extinction rates of birds with low dispersal ability simultaneously according to ΔAIC on 36 islands

模型 Models	对数似然系数 Log(L)	模型中的 参数个数 K	与最小AIC模 型差值 ΔAIC	权重 w	逻辑斯蒂回归的迁入率系数			逻辑斯蒂回归的灭绝率系数			各系数标准误差					
					α_0	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2	Se(α_0)	Se(α_1)	Se(α_2)	Se(β_0)	Se(β_1)	Se(β_2)
Ac, Ae	-2,704.77	4	0.00	0.34	-2.415	0.109	—	-0.495	-0.209	—	0.055	0.025	—	0.068	0.030	—
Ac	-2,703.96	5	0.37	0.28	-1.995	0.105	-0.059	-0.494	-0.209	—	0.329	0.025	0.046	0.068	0.030	—
Ac, Ae, Ie	-2,704.19	5	0.83	0.22	-2.415	0.109	—	-0.902	-0.207	0.058	0.055	0.025	—	0.388	0.030	0.055
Ac, Ic, Ae	-2,703.53	6	1.50	0.16	-2.034	0.106	-0.054	-0.850	-0.207	0.051	0.339	0.025	0.047	0.404	0.030	0.057
Ac, Ie	-2,712.18	4	14.81	0.00	-1.753	—	-0.078	-0.478	-0.223	—	0.311	—	0.044	0.068	0.029	—
Ac, Ic	-2,713.66	3	15.76	0.00	-2.303	—	—	-0.480	-0.223	—	0.047	—	—	0.068	0.029	—
Ac, Ic, Ae, Ie	-2,711.79	5	16.04	0.00	-1.788	—	-0.073	-0.814	-0.222	0.048	0.322	—	0.046	0.385	0.029	0.054
Ac, Ic, Ie	-2,713.07	4	16.60	0.00	-2.303	—	—	-0.885	-0.222	0.058	0.047	—	—	0.399	0.029	0.056
Ae	-2,730.91	4	52.27	0.00	-2.442	0.141	—	-1.339	—	0.079	0.055	0.025	—	0.396	—	0.056
Ae, Ie	-2,731.96	3	52.36	0.00	-2.442	0.141	—	-0.791	—	—	0.055	0.025	—	0.056	—	—
Ic, Ae	-2,731.27	4	52.98	0.00	-2.56	0.138	-0.055	-0.790	—	—	0.333	0.025	0.047	0.056	—	—
Ic, Ae, Ie	-2,730.39	5	53.23	0.00	-2.106	0.139	-0.047	-1.298	—	0.073	0.323	0.025	0.045	0.402	—	0.057
—	-2,745.21	3	78.86	0.00	-1.748	—	-0.079	-0.814	—	—	0.318	—	0.045	0.055	—	—
Ic	-2,744.39	4	79.23	0.00	-1.794	—	-0.072	-1.308	—	0.071	0.306	—	0.043	0.387	—	0.055
Ie	-2,745.65	3	79.76	0.00	-2.303	—	—	-1.372	—	0.080	0.047	—	—	0.401	—	0.057
Ic, Ie	-2,746.72	2	79.89	0.00	-2.303	—	—	-0.816	—	—	0.047	—	—	0.056	—	—

• 研究报告 •

云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类区系存在度及其在鱼类保护区设置中的意义

周 伟* 李 旭 李凯媛 李明会

(西南林业大学云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 昆明 650224)

摘要: 将经典动物区系与区系存在度分析方法相结合, 探讨云南萨尔温江水系的南滚河、南汀河及勐波罗河3条一级支流的鱼类多样性相对于萨尔温江中游水系鱼类的代表性, 比较其鱼类区系存在度差异, 分析区系组成特征及科、属在区系建成中的重要性, 旨在探讨区系存在度指标对鱼类保护区设置的指导作用。结果显示, 萨尔温江中游水系(云南段)共记录土著鱼类74种, 分隶于5目12科45属。3条支流共有土著鱼类53种, 分隶于5目12科38属, 其中南滚河鱼类有9科23属32种, 南汀河有11科33属47种, 勐波罗河有10科26属33种。按种类的绝对数排序, 3条支流均是鲤科、鲃科和条鳅科排前3位。而按区系存在度结果排序, 均是鳅科、鲃科、刺鳅科、合鳃鱼科和鲃科等5个科位列前5位。两种方法排序结果显示, 3条支流表现出完全的一致性。同一属级分类阶元的区系存在度在不同支流间变异较大, 属级和种级分类阶元的地域性分布特点渐趋明显。这3条一级支流鱼类均是以老第三纪原始类群为主体, 南方类群次之, 还有少量青藏高原类群。结合鱼类区系存在度研究结果, 在设置淡水鱼类保护区时, 应考虑在大水系的上中下游分别选择1条或多条一级支流建立保护区; 如果目、科级存在度高的阶元在鱼类保护区规划时涵盖得多, 则保护了较多的高级阶元, 但并非必须考虑的阶元; 而属级存在度值则是保护区规划时需要特别关注的事项。

关键词: 鱼类区系; 区系存在度; 生物多样性; 鱼类自然保护区; 萨尔温江水系

Fish faunal presence value in three first level tributaries of the Salween River in Yunnan, China and its meaning for aquatic nature reserve planning

Wei Zhou*, Xu Li, Kaiyuan Li, Minghui Li

Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224

Abstract: By combining the classical faunal analysis method and the value of faunal presence method, we analyzed fish diversities and their representatives in three first level tributaries including Nangunhe, Nantinghe and Mengboluohe in Yunnan to the middle Salween River system, to compare the difference in values of fish faunal presence and to analyze the characteristics of the faunal composition and the importance of families and genera in fauna formation. The purpose of the study was to explore the guiding role of the fish faunal presence value index in planning and establishing fish nature reserves. Results showed that a total of 74 endemic species were recorded in middle Salween River system in the Yunnan section, belonging to 5 orders, 12 families, and 45 genera. 53 species were recorded in these three first level tributaries, belonging to 5 orders, 12 families, and 38 genera, among them 32 species belonging to 9 families and 23 genera in Nangunhe; 47 species belonging to 11 families and 33 genera in Nantinghe; and 33 species belonging to 10 families and 26 genera in Mengboluohe. Sorted by species absolute number, Cyprinidae, Cobitidae and Sisoridae were ranked in the top 3 families in the three first level tributaries. Sorted by the fauna presence value, Anguillidae, Channidae, Mastacembelidae, Cobitidae, Synbranchidae and Sisoridae were ranked in the top 5

收稿日期: 2016-07-30; 接受日期: 2016-09-22

基金项目: 国家自然科学基金(31160419)和云南省林学一流学科建设项目(51600625)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: weizhouyn@163.com

families in the three first level tributaries. Results from the two methods were consistent with one another. The faunal presence value in the same genus changed greatly in the different tributaries, and the regional distribution features of the genus and species became obviously. The fish composition in the three first level tributaries was composed of a primitive group from the Palaeogene, comprised of a group that originated from the south and a small number of taxa that originated from Qinghai Tibet Plateau. The results of the fish fauna presence values indicated that one or more of the first level tributaries should be selected as reserves in the upper, middle and lower reaches of the main stream when setting up freshwater fish natural reserves. The greater the taxa of orders and families with a high fauna presence value covered when planning fish natural reserves, the greater the protection, which was not an element must be considered. However, the fauna presence value of the genera should be a special concern when planning reserves.

Key words: fish fauna; faunal presence value; biodiversity; fish nature reserve; Salween River system

在经典鱼类区系组成研究中,大多按科级阶元所隶属、种的绝对数目分析和排序,也有的仅简要分析某区域鱼类由哪些类群组成及各类群所占的百分比,或者较笼统地陈述区域内鱼类组成的成分及来源(武云飞和吴翠珍, 1991; Kottelat et al, 1993; Rainboth, 1996; 陈宜瑜, 1998a; 周伟等, 2004)。虽然按经典区系分析方法可以得到完整的区系组成,但难以反映这些科、属在该区域鱼类区系构成中的相对重要性。彭华和吴征镒(1997)对云南无量山种子植物进行研究时,首次提出了区系存在度(faunal presence value, FPV)的概念,指出按区系存在度值重新排列,可得到一个全然不同的排序结果。依据绝对数目排序可提供完整的种子植物区系组成,为生物资源利用及分类、进化等研究提供完整的物种信息;而区系存在度排序则反映各科、属在区系建成中的相对重要性,对区系演变研究及物种保护均有参考价值。两者组合共同体现一个地区/区域生物区系的独一无二性。

杜丽娜等(2008)首次将此方法应用于鱼类区系分析中,得出了云南文山州富宁县驮娘江鱼类区系的特点。此后,利用存在度研究鱼类区系的报道逐渐增多,如云南的牛栏江(王晓爱等, 2009)和李仙江(杨丽萍等, 2012)、重庆的嘉陵江流域(曾燊和周小云, 2012)和广西的漓江流域(朱瑜等, 2012)等。但至今没有同时对相邻几条河流鱼类区系存在度的研究报道,也没有深入探讨鱼类区系存在度的研究结果在保护区规划和设置时的参考和指导价值。

萨尔温江中上游在云南的江段与主干相连的支流短小,多呈羽状排列,仅在保山市的施甸县境内才有较大支流勐波罗河直接汇入萨尔温江;而在临沧市耿马县孟定和沧源县另有南汀河、南滚河两

条一级支流,流入缅甸后才注入萨尔温江(伍立群, 2010)。本项工作以云南萨尔温江这3条一级支流中的鱼类为研究对象,将经典区系研究按分类阶元绝对数目排序的方法与区系存在度分析方法相结合,分析这3条一级支流的鱼类多样性相对于所连接的萨尔温江水系鱼类的代表性,比较其鱼类区系存在度差异,分析区系组成特征及科、属在区系建成中的重要性。旨在探讨这3条一级支流鱼类在云南鱼类多样性中的地位和保护价值,为3条支流鱼类资源的合理开发利用、鱼类多样性研究、水生生态系统的保护和保护区规划和设置提供新思路 and 参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域自然概况

萨尔温江发源于青海省的唐古拉山南麓,源流称纳金曲,向南流经安多入错那湖,过那曲县东流而称那曲,与右岸支流曲曲汇合后称怒江,至云南德宏州芒市(原潞西县)出中国国境,进入缅甸始称萨尔温江。萨尔温江向南流经掸邦高原(Shan Plateau),至毛淡棉(Moutmein)附近注入印度洋的安达曼海(Andaman Sea)。从河源至入海口全长3,240 km,总流域面积32.5万km²,河口多年平均流量约8,000 m³/s,多年平均径流量2,520亿m³。在中国境内的流域面积为13.78万km²,干流全长2,013 km,落差4,840 m,平均比降为2.04%。萨尔温江在中国出境处的多年平均流量为2,229 m³/s,年径流量703亿m³。

南滚河、南汀河及勐波罗河是萨尔温江在中国的3条一级支流:

(1)南滚河。发源于云南沧源瓦族自治县的勐董

镇西部的南滚河自然保护区,上游称芒库河,在石头寨附近交汇后始称南滚河;向北流经班洪乡折向西南,沿中缅边境右纳界河南衣河进入缅甸;中国境内河长62.1 km,落差1,380 m,流域面积558 km²,多年平均流量23.3 m³/s。

(2)南汀河。在云南省西南部边界,源出临沧市临翔区博尚镇,至勐定县耿马纳入右岸支流南棒河后西流出国界进入缅甸国境,在滚弄附近注入萨尔温江;中国境内长272.9 km,总落差1,860 m,流域面积8,207.9 km²,多年平均流量180 m³/s。主要支流有河底岗河、小黑河、勐棒河、南棒河等。

(3)勐波罗河。在云南西部,源出保山市隆阳区瓦窑镇老营,向南流经保山坝,于施甸县旧城乡汇入萨尔温江。河长193 km,落差2,280 m,流域面积6,594 km²,多年平均流量90 m³/s。主要支流有丙麻河、橄榄河、姚关河与永康河等(伍立群, 2010)。

本研究中将萨尔温江水系在云南的江段称为萨尔温江中游,在云南以上的江段称为萨尔温江上游,在缅甸的江段称为萨尔温江下游。文献中通常所说的“怒江水系鱼类”实际上往往指的是分布在萨尔温江水系中游主干(即怒江云南段)及其支流中的鱼类种类的总和,本文以“萨尔温江水系中游鱼类”替代。

1.2 材料来源

研究鱼类名录以西南林业大学动物标本室保存的鱼类标本为基础,另以几份重要的文献资料作补充(陈小勇等, 2003^①; 周伟等, 2004, 2012^②; 陈小勇, 2013)。最后,参考*Catalog of Fishes* (Eschmeyer et al, 2016)提供的分类信息,以及相关的最新分类订正研究和系统发育研究文献,根据作者自身对鱼类各类群和物种分类地位的工作积累和认识,最后判断它们的分类地位。

1.3 区系存在度及计算公式

区系存在度(FPV)指某一分类阶元(目、科、属)在该地出现的次级分类群(科、属、种)与它的全部次级分类群的比值(彭华和吴征镒, 1997)。其计算公式如下:

$$FPV = (n/m) \times 100\%$$

① 陈小勇, 蒋万胜, 杨君兴 (2003) 第 10 章 鱼类. 见: 云南省林业调查规划设计院等. 中国云南永德国家级自然保护区综合科学考察报告(手稿).

② 周伟, 杨琴, 刘恺, 徐万吉 (2012) 第 13 章 鱼类. 见: 杜凡等. 云南南捧河省级自然保护区综合科学考察报告(手稿).

式中: n 指该地出现的次级分类单位数目; m 指次级分类单位总数。

鱼类目、科、属和种的分类系统及阶元数据主要依据*Catalog of Fishes* (Eschmeyer et al, 2016), 同时也参考FishBase (Froese & Pauly, 2015)的数据。用Excel 2007完成存在度计算。

2 结果

2.1 鱼类组成的基本特征

萨尔温江中游水系共记录土著鱼类74种,分隶于5目12科45属。3条一级支流共有土著种53种,分隶于5目12科38属;鲤形目和鲇形目是2个最大的目,而条鳅科、鲤科和鲃科是3个最大的科(表1, 附录1)。南滚河有鱼类9科23属32种,与其他两条支流相比,缺沙鳅科、鳅科和锡伯鲃科。南汀河有11科33属47种,与其他两条支流相比,缺锡伯鲃科。勐波罗河有10科26属33种,与其他两条支流相比,缺爬鳅科和胡子鲃科(表1)。在3条支流中,仅角鱼属(*Akrokolioplax*)为单型属,且为萨尔温江水系的特有属。南汀爬鳅(*Balitora nantingensis*)、孟定新条鳅(*Neonoemacheilus mengdingensis*)、异斑南鳅(*Schistura disparizona*)、后鳍吻孔鲃(*Poropuntius opisthopterus*)、保山裂腹鱼(*Schizothorax yunnanensis paoshanensis*)、异色纹胸鲃(*Glyptothorax fucatus*)和少斑褶鲃(*Pseudecheneis paucipunctatus*)等16种是萨尔温江水系的特有种,它们有的在3条支流中均有分布,或者仅分布于其中某一、二条支流(附录1)。

结果表明,在3条支流中分类阶元级别越高,与萨尔温江水系中游鱼类组成的相似度也越高;随着分类阶元级别的降低,与萨尔温江水系中游鱼类组成的相似度降低。在同一分类阶元,南汀河的鱼类组成与萨尔温江水系中游鱼类组成的相似度高与其他两条支流的相似度,即很大一部分分类阶元的代表均能在南汀河中找到(表2)。反映了水系支流体量(支流长度及流域面积)越大,其鱼类组成与相连接的主干鱼类组成相似度越高的一般性规律。

2.2 区系存在度结果

2.2.1 目级水平

依据经典动物区系分析方法,按所含科的绝对数目排序,云南萨尔温江3条支流鱼类排序前3位的是鲤形目、鲇形目与合鳃鱼目。而按区系存在度

表1 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类组成
Table 1 Ichtho-fauna of three first level tributaries of Salween River system in Yunnan

目 Order	科 Family	南滚河 Nangunhe				南汀河 Nandinghe				勐波罗河 Mengboluohe			
		属数	种数	科的种数/ 该支流鱼 类总种数	目的种数/ 该支流鱼 类总种数	属数	种数	科的种数/ 该支流鱼 类总种数	目的种数/ 该支流鱼 类总种数	属数	种数	科的种数/ 该支流鱼 类总种数	目的种数/ 该支流鱼 类总种数
		G	S	(%) F	(%) O	G	S	(%) F	(%) O	G	S	(%) F	(%) O
鳗鲡目	鳗鲡科	1	1	3.13	3.13	1	1	2.13	2.13	1	1	3.03	3.03
Anguilliformes	Anguillidae												
鲤形目	沙鳅科	0	0	0.00	62.50	1	1	2.13	68.09	1	1	3.03	63.64
Cypriniformes	Botiidae												
	鲃科	0	0	0.00		2	2	4.26		1	1	3.03	
	Cobitidae												
	爬鳅科	1	1	3.13		1	2	4.26		0	0	0.00	
	Balitoridae												
	条鳅科	3	8	25.00		4	9	19.15		2	4	12.12	
	Nemacheilidae												
	鲤科	10	11	34.38		16	18	38.30		13	15	45.45	
	Cyprinidae												
鲇形目	胡子鲇科	1	1	3.13	25.00	1	1	2.13	23.40	0	0	0.00	24.24
Siluriformes	Clariidae												
	锡伯鲇科	0	0	0.00		0	0	0.00		1	1	3.03	
	Schilbidae												
	鲃科	4	7	21.88		4	10	21.28		4	7	21.21	
	Sisoridae												
合鳃鱼目	合鳃鱼科	1	1	3.13	6.25	1	1	2.13	4.26	1	1	3.03	6.06
Synbranchiformes	Synbranchidae												
	刺鳅科	1	1	3.13		1	1	2.13		1	1	3.03	
	Mastacembelidae												
鲈形目	鲻科	1	1	3.13	3.13	1	1	2.13	2.13	1	1	3.03	3.03
Perciformes	Channidae												
	合计 Total	23	32	100.00	100.00	33	47	100.00	100.00	26	33	100.00	100.00

次级单位(科、属、种)数据来自*Catalog of Fishes*, 以下各表中同此表。
Numbers of lower category (family, genus and species) come from *Catalog of Fishes*, following tables are the same; F, Species number of a family/total species of the tributary (%); G, Genus number; O, Species number of an order/total species of the tributary (%); S, Species number.

表2 云南萨尔温江水系3条一级支流与萨尔温江中游鱼类分类阶元的比较
Table 2 Fish taxa comparisons between three first level tributaries in Yunnan and the middle of Salween River system

分类阶元 Category	萨尔温江中游鱼类阶元数 Fish taxa number in the middle of Salween River	南滚河 Nangunhe		南汀河 Nandinghe		勐波罗河 Mengboluohe	
		数量 Number	占萨尔温江中游 鱼类百分比(%) P	数量 Number	占萨尔温江中游 鱼类百分比(%) P	数量 Number	占萨尔温江中游 鱼类百分比(%) P
目 Order	5	5	100.0	5	100.0	5	100.0
科 Family	12	9	75.0	11	91.7	10	83.3
属 Genus	45	23	51.1	33	73.3	26	57.8
种 Species	74	32	43.2	47	63.5	33	44.6

P, A taxa number in the tributary/total taxa in the middle of Salween River system (%).

分析结果排序, 前3位的是合鳃鱼目、鲤形目和鳗鲡目(表3)。

2.2.2 科级水平

3条支流中, 按种类的绝对数排序, 均是鲤科、鲃科和条鳅科排前3位, 其他科或以单一属的形式存在, 或者缺乏该阶元的分布。而按区系存在度结果排序, 均是鳗鲡科、鲻科、刺鳅科、合鳃鱼科和鲃科等5个科位列前5位。两种方法排序结果中3条

支流表现出完全的一致性。绝对数目排序与存在度排序结果差异最大的是鲤科, 按种类的绝对数排序鲤科总是占据首位, 但按存在度排序其序位总是居末位或者倒数第2位(附录2)。

2.2.3 属级水平

南滚河有土著鱼类23属32种, 其中种数最多的属是南鳅属(*Schistura*), 有6种, 其次是纹胸鲃属(*Glyptothorax*), 有4种, 排第3的是墨头鱼属(*Garra*),

表3 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类目级区系存在度
Table 3 Fish faunal presence value of orders in three first level tributaries of Salween River system in Yunnan

目级分类阶元 Category in order	世界拥有科数 Family number in the world	研究区拥有科数 Family number in study area			区系存在度 Faunal presence value (%)		
		南滚河	南汀河	勐波罗河	南滚河	南汀河	勐波罗河
		Nangunhe	Nandinghe	Mengboluohe	Nangunhe	Nandinghe	Mengboluohe
鳗鲡目 Anguilliformes	16	1	1	1	6.25	6.25	6.25
鲤形目 Cypriniformes	12	3	5	4	25.00	41.67	33.33
鲇形目 Siluriformes	37	2	2	2	5.41	5.41	5.41
合鳃鱼目 Synbranchiformes	3	2	2	2	66.67	66.67	66.67
鲈形目 Perciformes	163	1	1	1	0.61	0.61	0.61
合计 Total	—	9	11	10	—	—	—

有2种；其他20属均为单种属，占南滚河鱼类总种数的62.50%。从区系存在度的排序结果来看，以上这3个属的区系存在度值均在4.0%以下，排名多靠后；相反，分布区较窄的属，如翅条鳅属(*Pteronemacheilus*)的存在度值达到50.0%，占据第1位；异鲴属(*Cabdio*)和舟齿鱼属(*Scaphiodonichthys*)达到33.3%，并列第2位。其他16个单种属或一些分布区较广的属，在南滚河的区系存在度值均较低(附录3)。

南汀河有土著鱼类33属47种，按所含种的绝对数目排序，纹胸鮡属7种，排列在第1位；南鳅属6种，排列在第2位；爬鳅属(*Balitora*)、墨头鱼属和裂腹鱼属各2种，并列第3位；其余28属均只有1种，占南汀河鱼类总种数的59.57%。随着分类阶元的降低，种的分布地域性渐趋明显。从区系存在度的结果来看，翅条鳅属虽为单种属，但其区系存在度值却达到了50%，位居第1位；异鲴属和舟齿鱼属并列第2位。鲃属(*Bagarius*)主要分布于东南亚和印度，区系存在度为25%，位居第4位；新条鳅属(*Neonoemacheilus*)在世界上共有5种，在中国仅见于南汀河，区系存在度位居第4位；其他28种单种属在南汀河的区系存在度多不高(附录3)。

勐波罗河有土著鱼类26属33种，按所含种的绝对数目排序，纹胸鮡属为4种，排在第1位；南鳅属为3种，排在第2位；墨头鱼属和裂腹鱼属均为2种，并列第3位；其余22属均为单种属，占勐波罗河鱼类总种数的66.67%。从区系存在度的排序结果来看，排第1位的为角鱼属(100%)，该属仅分布于萨尔温江水系，为该水系的特有属；排第2位的为翅条鳅属(50%)，其主要分布区在中国和老挝；异鲴属和

舟齿鱼属占据第3位。种的绝对数目排列第1–3位的纹胸鮡属、南鳅属、墨头鱼属和裂腹鱼属存在度值均低于4.0%(附录3)。

3 讨论

3.1 3条支流鱼类区系存在度变化规律

(1)不同支流鱼类高级分类阶元(目、科)的存在度趋于一致。分类等级越高的阶元(目)，它们在3条支流的组成及次级阶元(科)的组成几乎完全一致，所以这些分类阶元存在度的排序趋于一致。这3条支流均属于萨尔温江中下游支流，因此鱼类高级阶元的组成十分相似。如果向萨尔温江水系下游延伸，目级阶元的组成与中游相比将发生较大变化，靠近下游时目级阶元的数目增加，如鲮形目、鲃形目、骨舌鱼目、颌针鱼目和鲱形目等(Jayaram, 1981)，在上游均无分布。所以，萨尔温江中游及其支流与下游之间目级和科级分类阶元存在度的相似性低。

(2)支流的高级分类阶元(目、科)的区系存在度与其相连主干河段的区系存在度趋于一致。3条支流与它们所连接的萨尔温江水系主干河段相比，目、科级阶元的存在度也较一致。所以，支流对应于相连主干河段高级阶元具有较高的代表性，反映了支流与相连主干河段鱼类高级分类阶元起源的历史渊源。

(3)同一属级分类阶元的区系存在度在不同支流变异较大。属的存在度值大，反映了它在该支流的分化强烈；反之，存在度值小则表明了它在该支流的分化弱，如果趋于零则表明它在该支流无分布。存在度值为零的属级阶元越多，则该支流分布的鱼类种类就减少，其对萨尔温江水系中游的代表

性也就越低。而且, 由于分类阶元的降低, 属级和种级分类阶元的地域性特点分布渐趋明显。

3.2 存在度与分类阶元的起源和分化

中国淡水鱼类的成分可分为老第三纪原始类群、北方冷水性类群、东亚类群、南方类群和青藏高原类群等5大类群(陈宜瑜, 1998a)。在云南萨尔温江水系的3条一级支流中, 具体情况可归纳如下:

(1) 缺乏北方冷水性类群和东亚类群种类。以鲤科雅罗鱼亚科为代表的北方冷水性类群和以鲤科的鮡亚科、鲴亚科、鲢亚科和鳊亚科为代表的东亚类群在该区域无分布。这两个类群为太平洋水系的鱼类, 而萨尔温江最终注入印度洋, 鱼类中没有这两个类群的分布符合该区域的鱼类组成基本特征。

(2) 青藏高原类群的代表种类不多。鲤科裂腹鱼亚科和高原鳅属、鲃科的鳡鲃群为青藏高原类群的典型代表, 它们分化强烈, 构成了青藏高原鱼类区系的主体成分(武云飞和陈媛, 1991; 陈宜瑜, 1998b)。但云南萨尔温江水系3条一级支流均缺乏高原鳅属鱼类; 裂腹鱼亚科物种甚少, 仅勐波罗河与南汀河有分布, 均为2种, 存在度仅为3.03%, 而更向南的南滚河则无裂腹鱼类的分布, 体现了由北向南裂腹鱼类逐渐减少的规律; 青藏高原主体与核心区域分布的鲃科鳡鲃群种类极少或缺乏。事实表明, 因该区域位于横断山区的南侧, 已远离青藏高原的核心, 青藏高原类群的成分在此区域不占据主导地位。

(3) 南方类群是该区域重要组成部分。该类群是一类起源于青藏高原隆起早期, 沿高原的南麓辐射分布的类群, 陈宜瑜(1998a)指出南方类群仅包括鲤科的野鲮亚科, 作者认为南方类群还应包括条鳅科(不包括高原鳅属)和爬鳅科, 因为这两个类群也是沿青藏高原的南麓辐射分布的类群。属于南方类群的种类在萨尔温江中游共包含11属22种, 其中3条一级支流包含9属18种, 约占3条支流全部鱼类总种数的34.0%。属级存在度值以角鱼属最高, 达100%; 翅条鳅属次之, 为50%; 新条鳅属排第三, 为20%; 其余属的存在度值均较低。

(4) 老第三纪原始类群是该区域的主体成分。鲤科的鲃亚科、鲤亚科和鲴亚科属于老第三纪原始类群, 它们在3条支流中占多数, 共达到13个物种; 其中异鲴属、舟齿鱼属、鲈鲤属的区系存在度较高, 在3条支流中均达到25.0%以上。除鲤科外, 老第三

纪类群还包含了新第三纪之后在东南亚起源的纯淡水鱼类或由海洋鱼类派生的属种, 如鲤形目的鳅科和沙鳅科, 鲇形目的鲇科、鮡科、胡鲇科、长臀鮠科和钝头鮠科, 及鲈形目的鳢科、斗鱼科和刺鳅科等(陈宜瑜等, 1988)。如果将这些类群一并归入老第三纪类群, 则萨尔温江云南3条一级支流的老第三纪类群总数达到18属37种, 约占3条支流全部鱼类总种数的69.81%。

鱼类区系存在度与鱼类名录结合才能反映不同水系, 甚至同一水系上、下游之间或不同支流的鱼类组成差异。驮娘江属于珠江水系, 牛栏江和嘉陵江属于金沙江水系, 但几乎均是以老第三纪原始类群为主体(杜丽娜等, 2008; 王晓爱等, 2009; 曾燊和周小云, 2012), 这仅反映了这些水系中主要鱼类成分的来源, 而一些次要成分往往体现了鱼类组成的来源差异, 不可忽视。如云南萨尔温江3条一级支流是以老第三纪原始类群为主体, 并由少量青藏高原区类群和南方类群共同构成。尽管牛栏江的鱼类组成总体情况大致与萨尔温江云南3条一级支流的情况类似, 但不同的是它具有东亚类群的代表(王晓爱等, 2009), 显现出其鱼类组成类群不同的特殊性, 也成为其不同于萨尔温江云南3条一级支流鱼类区系的标志。如果换一角度看, 不同水系和支流虽同为老第三纪原始类群, 但仔细比对其名录, 不难发现种类组成差异十分显著。所以, 仅仅分别以经典方法和区系存在度方法分析得出的鱼类组成结果均不足以完全和真实反映研究区域间鱼类区系组成本质的相似性和差异性, 将两种方法的结果相结合, 能更好地反映鱼类区系成分的组成特点。

3.3 鱼类保护区规划设置思考

建立保护区的目的是为了就地保护生态系统和物种多样性, 所以保护区的规划需要考虑如何设置才能保护到尽可能多的保护对象。结合本文鱼类区系存在度研究, 就淡水鱼类保护区的设置谈几点看法:

(1) 目、科级存在度高的阶元在鱼类保护区规划时涵盖得多, 则保护了较多的高级阶元, 但并非是必须考虑的阶元。目、科级存在度高的阶元一般表明它们的次级分类阶元的分化并不强烈, 甚至可能是泛世界分布的阶元。因为其分布广泛, 即使不保护该支流, 只要在其他区域对其保护, 该分类阶元就得到了保护, 一般不会成为濒危阶元。所以, 在

鱼类保护区规划时不需要特别予以关注和考虑,但如果规划地有较多的目和科,则较好地保护了更多的高级分类阶元和鱼类多样性。

(2)属级存在度值是需要特别关注的指标。属级存在度值高,常常代表着其种级阶元分化不强烈,分布区狭窄和特有性高。相反,存在度值低,往往表示其种级阶元分化强烈,在该支流/区域仅有单一物种分布,或者虽有少数几个物种分布,但与整个属的物种数相比,仍是极小的份额;无论哪一种情况,物种多为狭域分布物种或者是特有种。如果存在度值低的属集合在一块,则从另一侧面反映了该支流/区域物种多样性的丰富度和独特性。所以,需要对属级存在度值认真分析,综合考虑。

(3)在大水系的上中下游分别选择一条或多条一级支流建立保护区。从国民经济发展对能源的需求、民生需求和国家安全战略等方面考虑,不可能不在大的水系干流建立大坝和水电站。反过来说,在大的水系干流建立鱼类保护区的可能性较低,但在支流建立鱼类保护区的可能性较高。本研究结果表明,一方面,支流的鱼类区系组成对于干流具有一定的代表性;另一方面,上中下游鱼类不仅在种类组成上差异大,而且在目、科级阶元的组成差异也十分显著。所以,在大水系的不同河段选择一级支流建立鱼类保护区至少可以保护该河段约一半的鱼类种类。在上中下游各选择一条一级支流建立保护区的话,60–85%的鱼类种类均能得到保护。鉴于此,从保护鱼类多样性的角度出发就应该在大水系的上中下游预留一些一级支流,建立鱼类保护区。

(4)选择代表性强的一级支流建立保护区。本项研究结果显示,云南萨尔温江水系的3条一级支流对萨尔温江云南段的代表性不同,如果在南汀河设置鱼类保护区,萨尔温江水系中游云南段65.8%的鱼类将得以保护;如果在这3条一级支流上分别建立鱼类保护区,则萨尔温江水系中游云南段73.7%的鱼类将得以保护,保护的种类和效果均会提高。但如果条件不允许3条一级支流全都建立保护区的话,则选择南汀河规划成为鱼类保护区,因南汀河不仅鱼类阶元数量较另两条支流多,大部分鱼类的存在度也较其他两条支流大。这一结果亦提示,在相同或相近区域选择不同支流建立鱼类保护区,河的体量大小(支流长度及流域面积)亦是一重要和不

可忽视的因素。

参考文献

- Chen XY (2013) Checklist of fishes of Yunnan. *Zoological Research*, 34, 281–343. (in Chinese with English abstract) [陈小勇 (2013) 云南鱼类名录. 动物学研究, 34, 281–343.]
- Chen YY (1998a) *Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes. II*. Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract) [陈宜瑜 (1998a) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷). 科学出版社, 北京.]
- Chen YY (1998b) The Fishes of the Hengduan Mountains Region. Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract) [陈宜瑜 (1998b) 横断山区鱼类. 科学出版社, 北京.]
- Chen YY, Cao WX, Zheng CY (1988) Ichthyofauna of the Zhujiang River with a discussion on zoogeographical divisions for freshwater fishes. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 10, 229–236. (in Chinese with English abstract) [陈宜瑜, 曹文宣, 郑慈英 (1998) 珠江的鱼类区系及其动物地理区划的讨论. 水生生物学报, 10, 229–236.]
- Du LN, Huang YF, Chen XY, Yang JX (2008) Three new records of fish in Yunnan and analysis of the value of faunal presence of fish in the Tuoniang River. *Zoological Research*, 29, 69–77. (in Chinese with English abstract) [杜丽娜, 黄艳飞, 陈小勇, 杨君兴 (2008) 云南鱼类三新纪录及驮娘江鱼类的区系存在度分析. 动物学研究, 29, 69–77.]
- Eschmeyer WN, Fricke R, van der Laan R (2016) Catalog of Fishes: Genera, Species, References. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (accessed on 2016-06-28).
- Froese R, Pauly D (2015) FishBase. <http://www.fishbase.org/home.htm> (accessed on 2016-06-28).
- Jayaram KC (1981) The Freshwater Fishes of India, Pakistan, Bangladesh, Burma and Sri Lanka. *Zoological Survey of India*, Calcutta.
- Kottelat M, Whitten AJ, Kartikasari SN, Wirjoatmodjo S (1993) Freshwater Fishes of Western Indonesia and Sulawesi. Periplus Editions, Hong Kong.
- Peng H, Wu ZY (1997) Two kinds of different ranking methods of families and genera of the seed plants flora in Mt. Wuliangshan. *Acta Botanica Yunnanica*, 19, 251–259. (in Chinese with English abstract) [彭华, 吴征镒 (1997) 无量山种子植物区系科属的两种不同排序. 云南植物学研究, 19, 251–259.]
- Rainboth WJ (1996) Fishes of the Cambodian Mekong. FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes. FAO, Rome.
- Wang XA, Chen XY, Yang JX (2009) Ichthyologic Fauna of Niulan River. *Zoological Research*, 30, 585–592. (in Chinese with English abstract) [王晓爱, 陈小勇, 杨君兴 (2009) 中国金沙江一级支流牛栏江的鱼类区系分析. 动物学研究, 30, 585–592.]

- Wu LQ (2010) Rivers and Lakes in Yunnan. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [伍立群 (2010) 云南河湖. 云南科技出版社, 昆明.]
- Wu YF, Wu CZ (1991) The Fishes of the Qinghai-Xizang Plateau. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Chengdu. (in Chinese with English abstract) [武云飞, 吴翠珍 (1991) 青藏高原鱼类. 四川科学技术出版社, 成都.]
- Yang LP, Yang Q, Li QS, Zhou W (2012) Analysis of the value of faunal presence of fish in the Lixian River. Journal of Anhui Agricultural University, 39, 184–188. (in Chinese with English abstract) [杨丽萍, 杨琴, 李奇生, 周伟 (2012) 李仙江鱼类的区系存在度分析. 安徽农业大学学报, 39, 184–188.]
- Zeng Y, Zhou XY (2012) An analysis of ichthyologic fauna of Jialing River. Journal of Huazhong Agricultural University, 31, 506–511. (in Chinese with English abstract) [曾燊, 周小云 (2012) 嘉陵江流域鱼类区系分析. 华中农业大学学报, 31, 506–511.]
- Zhou W, Chen YR, Liu N, Zhang Q, Feng CZ (2004) Fishes. In: Nangun River National Nature Reserve of China (eds Yang YM, Du F), pp. 223–235. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [周伟, 陈银瑞, 刘宁, 张庆, 冯朝忠 (2004) 鱼类. 见: 中国南滚河国家级自然保护区 (杨宇明, 杜凡主编), 223–235. 云南科技出版社, 昆明.]
- Zhu Y, Cai DS, Zhou J, Han YQ (2012) Ichthyologic fauna of Lijiang River, Guilin, China. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 30(4), 136–145. (in Chinese with English abstract) [朱瑜, 蔡德所, 周解, 韩耀全 (2012) 漓江流域鱼类区系组成分析. 广西师范大学学报(自然科学版), 30(4), 136–145.]
- (责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 云南萨尔温江水系中游及3条一级支流鱼类名录

Appendix 1 A fish list from middle Salween River system with three first level tributaries in Yunnan
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016210-1.pdf>

附录2 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类科级阶元存在度与经典方法排序对比

Appendix 2 Comparison of families between classical taxonomy method and fish faunal presence value from three first level tributaries of Salween River system in Yunnan
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016210-2.pdf>

附录3 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类属级阶元存在度与经典方法排序对比

Appendix 3 Comparison of genera between classical taxonomy method and fish faunal presence value from three first level tributaries of Salween River system in Yunnan
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016210-3.pdf>

周伟, 李旭, 李凯媛, 李明会. 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类区系存在度及其在鱼类保护区设置中的意义. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1154–1161.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016210>

附录1 云南萨尔温江水系中游及3条一级支流鱼类名录

Appendix 1 A fish list from middle Salween River system with three first level tributaries in Yunnan

分类阶元 Category	萨尔温江中游 Middle of Salween River	南滚河 Nangunhe	南汀河 Nandinghe	勐波罗河 Mengboluohe	特有性 Specific	单型性 Monotypic
I 鳗鲡目 ANGUILLIFORMES						
1 鳗鲡科 Anguillidae						
1) 云纹鳗鲡 <i>Anguilla nebulosa</i>	+	+	+	+		
II 鲤形目 CYPRINIFORMES						
2 沙鳅科 Botiidae						
2) 伊洛瓦底沙鳅 <i>Botia histrionica</i>	+		+	+		
3 鲃科 Cobitidae						
3) 伯氏似鳞头鳅 <i>Lepidocephalichthys berdmorei</i>	+		+			
4) 赫氏似鳞头鳅 <i>Lepidocephalichthys hasselti</i>	+					
5) 泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+		+	+		
4 爬鳅科 Balitoridae						
6) 南汀爬鳅 <i>Balitora nantingensis</i>	+	+	+		S _{1,2}	
7) 萨尔温江爬鳅 <i>Balitora nujiangensis</i>	+		+		S _S	
5 条鳅科 Nemacheilidae						
8) 多鳞荷马条鳅 <i>Homatula pycnolepis</i>	+		+			
9) 孟定新条鳅 <i>Neonoemacheilus mengdingensis</i>	+	+	+		S _N	
10) 南方翅条鳅 <i>Pteronemacheilus meridionalis</i>	+	+	+	+		
11) 隐斑南鳅 <i>Schistura cryptofasciata</i>	+	+	+			
12) 异斑南鳅 <i>Schistura disparizona</i>	+	+	+		S _{1,2}	
13) 湄南南鳅 <i>Schistura kengtungensis</i>	+	+	+	+		
14) 长南鳅 <i>Schistura longa</i>	+		+	+	S _S	
15) 南定南鳅 <i>Schistura nandingensis</i>	+		+		S ₂	
16) 密带南鳅 <i>Schistura poculi</i>	+		+	+		
17) 宽带南鳅 <i>Schistura proluxifasciata</i>	+	+			S ₁	
18) 双江南鳅 <i>Schistura shuangjiangensis</i>	+	+				
19) 短尾高原鳅 <i>Triplophysa breviceauda</i>	+					
20) 萨尔温江高原鳅 <i>Triplophysa nujiangensis</i>	+					
21) 细尾高原鳅 <i>Triplophysa stenura</i>	+					
6 鲤科 Cyprinidae						
鲃亚科 Danioninae						
22) 斑尾低线鲃 <i>Barilius caudiceollatus</i>	+	+	+			
23) 异鲃 <i>Cabdio morar</i>	+	+	+	+		
24) 布朗神鲃 <i>Devario browni</i>	+	+	+	+		
25) 掸邦非鲤 <i>Inlecypis shanensis</i>	+					
26) 长嘴鲃 <i>Raiamas guttatus</i>	+	+	+	+		
鲃亚科 Barbinae						
27) 保山新光唇鱼 <i>Neolissochilus baoshanensis</i>	+	+	+	+		
28) 南方白甲鱼 <i>Onychostoma gerlachi</i>	+		+	+		
29) 后背鲃鲤 <i>Percocypris pingi retrodorsalis</i>	+			+		

周伟, 李旭, 李凯媛, 李明会. 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类区系存在度及其在鱼类保护区设置中的意义. 生物多样性, 2016, 24 (10): 1154–1161.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016210>

分类阶元	Category	萨尔温江中游 Middle of Salween River	南滚河 Nangunhe	南汀河 Nandinghe	勐波罗河 Mengboluohe	特有性 Specific	单型性 Monotypic
30)	异斑小鲃 <i>Pethia ticto</i>	+	+	+			
31)	后鳍吻孔鲃 <i>Poropuntius opisthopterus</i>	+		+	+	S ₅	
32)	斑尾小鲃 <i>Puntius sophore</i>	+		+			
33)	少鳞舟齿鱼 <i>Scaphiodonichthys acanthopterus</i>	+	+	+	+		
34)	半刺结鱼 <i>Tor hemispinus</i>	+					
35)	野结鱼 <i>Tor tambra</i>	+	+	+			
野鲮亚科 Laboninae							
36)	戴氏孟加拉鲃 <i>Bangana devdevi</i>	+		+			
37)	萨尔温江墨头鱼 <i>Garra nujianensis</i>	+	+	+	+	S ₅	
38)	萨尔温墨头鱼 <i>Garra salweenica</i>	+	+	+	+		
39)	角鱼 <i>Akrolioplax bicornis</i>	+			+	G,S ₅	Mg
40)	缅甸穗唇鲃 <i>Crossocheilus burmanicus</i>	+		+	+		
41)	缺须盆唇鱼 <i>Placocheilus cryptonemus</i>	+					
裂腹鱼亚科 Schizothoracinae							
42)	全裸裸重唇鱼 <i>Gymnoditychus integrigymnatus</i>	+					
43)	裸腹叶须鱼 <i>Ptychobarbus kaznakovi</i>	+					
44)	贡山裂腹鱼 <i>Schizothorax gongshanensis</i>	+					
45)	光唇裂腹鱼 <i>Schizothorax lissolabiatu</i>	+		+	+		
46)	萨尔温江裂腹鱼 <i>Schizopyge nukiangensis</i>	+		+		S ₅	
47)	保山裂腹鱼 <i>Schizothorax yunnanensis paoshanensis</i>	+			+	S ₃	
鲤亚科 Cyprininae							
48)	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	+					
49)	鲫 <i>Carassius auratus</i>	+	+	+	+		
III 鲇形目 SILURIFORMES							
7 胡子鲇科 Clariidae							
50)	胡子鲇 <i>Clarias fuscus</i>	+	+	+			
8 锡伯鲇科 Schilbidae							
51)	云南鲢鲇 <i>Clupisoma yunnanensis</i>	+			+		
9 鲃科 Sisoridae							
52)	巨鲃 <i>Bagarius yarrelli</i>	+	+	+	+		
53)	贡山异鲃 <i>Creteuchiloglanis gongshanensis</i>	+					
54)	大鳍异鲃 <i>Creteuchiloglanis macropterus</i>	+					
55)	长丝黑鲃 <i>Gagata dolichonema</i>	+					
56)	缅甸纹胸鲃 <i>Glyptothorax burmanicus</i>	+	+	+	+		
57)	异色纹胸鲃 <i>Glyptothorax fucatus</i>	+	+	+		S _{1,2}	
58)	粒线纹胸鲃 <i>Glyptothorax granosus</i>	+					
59)	矛形纹胸鲃 <i>Glyptothorax lanceatus</i>	+					
60)	长须纹胸鲃 <i>Glyptothorax longinema</i>	+	+	+	+		
61)	大斑纹胸鲃 <i>Glyptothorax macromaculatus</i>	+		+			
62)	似亮背纹胸鲃 <i>Glyptothorax ngapang</i>	+	+	+	+		
63)	斜斑纹胸鲃 <i>Glyptothorax obliquimaculatus</i>	+		+			
64)	三线纹胸鲃 <i>Glyptothorax trilineatus</i>	+		+	+		

周伟, 李旭, 李凯媛, 李明会. 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类区系存在度及其在鱼类保护区设置中的意义. 生物多样性, 2016, 24 (10): 1154–1161.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016210>

分类阶元 Category	萨尔温江中游 Middle of Salween River	南滚河 Nangunhe	南汀河 Nandinghe	勐波罗河 Mengboluohe	特有性 Specific	单型性 Monotypic
65) 扎那纹胸鲃 <i>Glyptothorax zanaensis</i>	+					
66) 无斑异齿鲃 <i>Oreoglanis immaculatus</i>	+	+	+	+	S ₅	
67) 长鳍褶鲃 <i>Pseudecheneis longipectoralis</i>	+	+			S ₅	
68) 少斑褶鲃 <i>Pseudecheneis paucipunctatus</i>	+		+	+	S ₁	
69) 短体拟鲃 <i>Pseudoxostoma brachysoma</i>	+					
70) 长鳍拟鲃 <i>Pseudoxostoma longipterus</i>	+					
IV 合鳃鱼目 SYNBRANCHIFORMES						
10 合鳃鱼科 Synbranchidae						
71) 黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	+	+	+	+		
11 刺鲃科 Mastacembelidae						
72) 大刺鲃 <i>Mastacembelus armatus</i>	+	+	+	+		
V 鲈形目 PERCIFORMES						
12 鲃科 Channidae						
73) 宽额鲃 <i>Channa gachua</i>	+	+	+	+		
74) 线鲃 <i>Channa striata</i>	+					
合计 Total	74	32	47	33	—	—

+: 分布; G: 特有属; Mg: 单型属; S₁: 南滚河分布的特有种; S₂: 南汀河分布的特有种; S₃: 勐波罗河分布的特有种; S₅: 萨尔温江分布的特有种。

+, Distribution; G, specific genus; Mg, monotypic genus; S₁, specific species occurred in Nangunhe; S₂, specific species occurred in Nandinghe; S₃, specific species occurred in Mengboluohe; S₅, specific species occurred in Salween River.

周伟, 李旭, 李凯媛, 李明会. 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类区系存在度及其在鱼类保护区设置中的意义. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1154–1161.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016210>

附录2 云南萨尔温江水系三条一级支流鱼类科级阶元存在度与经典方法排序对比

Appendix 2 Comparison of families between classical taxonomy method and fish faunal presence value from three first level tributaries of Salween River system in Yunnan

科级阶元 Category in family	世界拥有属数 Genus number in the world	萨尔温江中游 拥有属数 Genus number in the middle of Salween River	南滚河 Nangunhe					南汀河 Nandinghe					勐波罗河 Mengboluohe				
			经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value			经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value			经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value		
			属数 Numbers of genus	Num- 排序 Sort	%	排序 Sort		属数 Numbers of genus	Numbers 排序 Sort	%	排序 Sort		属数 Numbers of genus	Num- 排序 Sort	%	排序 Sort	
鳗鲡科 Anguillidae	1	1	1	4	100.00	1		1	4	100.00	1		1	4	100.00	1	
沙鳅科 Botiidae	8	1	0	—	0.00	—		1	4	12.50	6		1	4	12.50	6	
鲇科 Cobitidae	29	2	0	—	0.00	—		2	3	6.90	8		1	4	3.45	10	
爬鳅科 Balitoridae	35	1	1	4	2.86	8		1	4	2.86	11		0	—	0.00	—	
条鳅科 Nemacheilidae	48	5	3	3	6.25	7		4	2	8.33	7		2	3	4.17	8	
鲤科 Cyprinidae	366	23	10	1	2.73	9		16	1	4.37	10		13	1	3.55	9	
胡子鲇科 Clariidae	15	1	1	4	6.67	6		1	4	6.67	9		0	—	0.00	—	
锡伯鲇科 Schilbidae	15	1	0	—	0.00	—		0	—	0.00	—		1	4	6.67	7	
鲃科 Sisoridae	20	7	4	2	20.00	5		4	2	20.00	5		4	2	20.00	5	
合鳃鱼科 Synbranchidae	4	1	1	4	25.00	4		1	4	25.00	4		1	4	25.00	4	
刺鳅科 Mastacembelidae	3	1	1	4	33.33	3		1	4	33.33	3		1	4	33.33	3	
鲢科 Channidae	2	1	1	4	50.00	2		1	4	50.00	2		1	4	50.00	2	
合计 Total	546	45	23	—	—	—		33	—	—	—		26	—	—	—	

周伟, 李旭, 李凯媛, 李明会. 云南萨尔温江水系3条一级支流鱼类区系存在度及其在鱼类保护区设置中的意义. 生物多样性, 2016, **24** (10): 1154–1161.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016210>

附录3 云南萨尔温江水系三条一级支流鱼类属级阶元存在度与经典方法排序对比

Appendix 3 Comparison of genera between classical taxonomy method and fish faunal presence value from three first level tributaries of Salween River system in Yunnan

序号 No.	属级阶元 Category in genus	世界拥有种数 Species number in the world	萨尔温江中游 拥有种数 Species number in the middle of Salween River	南滚河 Nangunhe				南汀河 Nandinghe				勐波罗河 Mengboluohe			
				经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value		经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value		经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value	
				种数	Number	排序	Sort	种数	Number	排序	Sort	种数	Number	排序	Sort
				of species		%		of species		%		of species		%	
1	鳗鲡属 <i>Anguilla</i>	18	1	1	4	5.56	10	1	4	5.56	15	1	4	5.56	13
2	沙鳅属 <i>Botia</i>	8	1	0	—	0.00	—	1	4	12.50	7	1	4	12.50	9
3	似鳞头鳅属 <i>Lepidocephalichthys</i>	18	2	0	—	0.00	—	1	4	5.56	15	0	—	0.00	—
4	泥鳅属 <i>Misgurnus</i>	9	1	0	—	0.00	—	1	4	11.11	8	1	4	11.11	10
5	爬鳅属 <i>Balitora</i>	19	2	1	4	5.26	11	2	3	10.53	9	0	—	0.00	—
6	荷马条鳅属 <i>Homatula</i>	15	1	0	—	0.00	—	1	4	6.67	12	0	—	0.00	—
7	新条鳅属 <i>Neonemacheilus</i>	5	1	1	4	20.00	5	1	4	20.00	5	0	—	0.00	—
8	翅条鳅属 <i>Pteronemacheilus</i>	2	1	1	4	50.00	1	1	4	50.00	1	1	4	50.00	2
9	南鳅属 <i>Schistura</i>	219	8	6	1	2.74	19	6	2	2.74	28	3	2	1.37	26
10	高原鳅属 <i>Triplophysa</i>	132	3	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
11	低线鳅属 <i>Barilius</i>	23	1	1	4	4.35	15	1	4	4.35	22	0	—	0.00	—
12	异鲴属 <i>Cabdio</i>	3	1	1	4	33.33	2	1	4	33.33	2	1	4	33.33	3
13	神鲃属 <i>Devatio</i>	35	1	1	4	2.86	17	1	4	2.86	25	1	4	2.86	21
14	非鲤属 <i>Inlecypis</i>	4	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
15	长嘴鳅属 <i>Raiamas</i>	15	1	1	4	6.67	8	1	4	6.67	12	1	4	6.67	12
16	新光唇鱼属 <i>Neolissochilus</i>	22	1	1	4	4.55	13	1	4	4.55	19	1	4	4.55	16
17	结鱼属 <i>Tor</i>	17	2	1	4	5.88	9	1	4	5.88	14	0	—	0.00	—
18	白甲鱼属 <i>Onychostoma</i>	23	1	0	—	0.00	—	1	4	4.35	22	1	4	4.35	18
19	鲈鲤属 <i>Percocypris</i>	4	1	0	—	0.00	—	0	4	0.00	4	1	—	25.00	5
20	二点鲃属 <i>Pethia</i>	39	1	1	4	2.56	20	1	4	2.56	29	0	—	0.00	—
21	吻孔鲃属 <i>Poropuntius</i>	35	1	0	—	0.00	—	1	4	2.86	25	1	4	2.86	21
22	小鲃属 <i>Puntius</i>	44	1	0	—	0.00	—	1	4	2.27	30	0	—	0.00	—
23	舟齿鱼属 <i>Scaphiodonichthys</i>	3	1	1	4	33.33	2	1	4	33.33	2	1	4	33.33	3

序号 No.	属级阶元 Category in genus	世界拥有种数 Species number in the world	萨尔温江中游 拥有种数 Species number in the middle of Salween River	南滚河 Nangunhe				南汀河 Nandinghe				勐波罗河 Mengboluohe			
				经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value		经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value		经典分类 Classical taxonomy		区系存在度 Faunal presence value	
				种数 Number of species	排序 Sort	%	排序 Sort	种数 Number of species	排序 Sort	%	排序 Sort	种数 Number of species	排序 Sort	%	排序 Sort
24	孟加拉鲮属 <i>Bangana</i>	22	1	0	—	0.00	—	1	4	4.55	19	0	—	0.00	—
25	墨头鱼属 <i>Garra</i>	142	2	2	3	1.41	23	2	3	1.41	33	2	3	1.41	25
26	角鱼属 <i>Akrolioplax</i>	1	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	8	1	4	100.00	1
27	穗唇鲃属 <i>Crossocheilus</i>	18	1	0	—	0.00	—	1	—	5.56	15	1	4	5.56	13
28	盆唇鱼属 <i>Placocheilus</i>	5	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
29	裸重唇鱼属 <i>Gymnodiptychus</i>	3	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
30	叶须鱼属 <i>Ptychobarbus</i>	5	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
31	裂腹鱼属 <i>Schizothorax</i>	66	4	0	—	0.00	—	2	3	3.03	24	2	3	3.03	20
32	鲫属 <i>Carassius</i>	5	1	1	4	20.00	5	1	4	20.00	5	1	4	20.00	7
33	鲤属 <i>Cyprinus</i>	23	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
34	胡子鲇属 <i>Clarias</i>	61	1	1	4	1.64	21	1	4	1.64	31	0	—	0.00	—
35	鲱鲃属 <i>Clupisoma</i>	6	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	1	4	16.67	8
36	鲃属 <i>Bagarius</i>	4	1	1	4	25.00	4	1	4	25.00	4	1	4	25.00	5
37	异鲃属 <i>Creteuchiloglanis</i>	7	2	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
38	黑鲃属 <i>Gagata</i>	7	1	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
39	纹胸鲃属 <i>Glyptothorax</i>	101	10	4	2	3.96	16	7	1	6.93	11	4	1	3.96	19
40	异齿鲃属 <i>Oreoglanis</i>	22	1	1	4	4.55	13	1	4	4.55	19	1	4	4.55	16
41	褶鲃属 <i>Pseudecheneis</i>	19	2	1	4	5.26	11	1	4	5.26	18	1	4	5.26	15
42	拟鲃属 <i>Pseudoexostoma</i>	3	2	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—	0	—	0.00	—
43	黄鲃属 <i>Monopterus</i>	14	1	1	4	7.14	7	1	4	7.14	10	1	4	7.14	11
44	刺鲃属 <i>Mastacembelus</i>	67	1	1	4	1.49	22	1	4	1.49	32	1	4	1.49	24
45	鲃属 <i>Channa</i>	35	2	1	4	2.86	17	1	4	2.86	25	1	4	2.86	21
合计Total		1,348	74	32	—	—	—	47	—	—	—	33	—	—	—

• 研究报告 •

台湾地区芽胞杆菌物种多样性

刘国红 刘 波* 朱育菁 车建美 葛慈斌 苏明星 唐建阳

(福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福州 350003)

摘要: 了解芽胞杆菌资源多样性, 可为芽胞杆菌功能资源挖掘和菌剂开发提供基础。从台湾地区8个市(县)采集土壤样本, 从20份土壤样品中分离获得了136株芽胞杆菌, 采用16S rRNA基因同源性将其鉴定为芽胞杆菌科的2个属、20个种。分别属于芽胞杆菌属(*Bacillus*)的16个种和赖氨酸芽胞杆菌属(*Lysinibacillus*)的4个种。根据分离频度分析得知, 台湾地区土壤中的芽胞杆菌优势菌群为阿氏芽胞杆菌(*Bacillus aryabhattai*)、苏云金芽胞杆菌(*B. thuringiensis*)和蜡样芽胞杆菌(*B. cereus*), 其他种类分布极其不均匀。芽胞杆菌Shannon多样性指数为1.2925–2.5850, 最高的为台中市和嘉义市(2.5850), 最低的为桃园县(1.2925)。根据分离频度对芽胞杆菌种类的聚类分析显示, 当欧式距离 $\lambda = 20$ 时, 芽胞杆菌种类可分为高频度分布类型如阿氏芽胞杆菌(*B. aryabhattai*), 低频度分布类型如简单芽胞杆菌(*B. simplex*)。依据分离频度对8个采样点间的聚类分析未发现采样点间的芽胞杆菌种类分布的相关性。本研究认为台湾地区土壤中蕴藏着丰富芽胞杆菌种类多样性高, 具有很大的开发潜力。

关键词: 芽胞杆菌; 台湾; 16S rRNA基因; 多样性; 种类分布

Diversity of *Bacillus*-like species in Taiwan

Guohong Liu, Bo Liu*, Yujing Zhu, Jianmei Che, Cijin Ge, Mingxing Su, Jianyang Tang

Agricultural Bio-resource Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003

Abstract: To provide a foundation for new resource mining of *Bacillus*-like species and the development of microbial agents, we investigated the distribution and diversity of *Bacillus*-like species, which were isolated from soil samples collected in Taiwan. The *Bacillus*-like bacteria were isolated from the soil samples using the culturable method and preliminarily identified based on 16S rRNA gene sequences. A total of 136 *Bacillus*-like isolates were obtained from 20 soil samples, and identified as 20 species belonging to 2 genera (16 *Bacillus* species, 4 *Lysinibacillus* species) within Bacillaceae by 16S rRNA gene sequences. According to isolation frequency analysis, the dominant bacteria in Taiwan were *B. aryabhattai*, *B. thuringiensis* and *B. cereus*. Other bacteria were distributed extremely unevenly. In Taiwan, the Shannon-Wiener diversity index ranged from 1.2925 to 2.5850, with the highest values found in Taichung and Chiayi cities (both 2.5850), the lowest in Taoyuan County (1.2925). Based on isolation frequency cluster analysis, all the *Bacillus*-like species could be divided into high frequency groups and low frequency groups. Moreover, there was no correlation in the species distribution of *Bacillus*-like bacteria among the collection sites in Taiwan. Thus, Taiwan contains rich *Bacillus*-like species and high diversity, which has strong potential for exploitation in the future.

Key words: *Bacillus*; Taiwan; 16S rRNA gene; diversity; species distribution

芽胞杆菌是一类革兰氏阳性细菌, 好氧或兼性厌氧, 能够产生对热、紫外线、电磁辐射和某些化学药品有很强抗性的芽胞, 能耐受多种不良环境。芽胞杆菌是土壤微生物的重要组成部分, 在土壤生

态系统中占有重要地位。有些芽胞杆菌可以在高酸、高碱、高温、高寒等极端环境下生长良好, 具有较大的生态学价值。近几年, 陆续报道了不同生态条件下土壤芽胞杆菌数量和种类分布。葛慈斌等

收稿日期: 2016-05-04; 接受日期: 2016-10-24

基金项目: 国家自然科学基金(31370059)、福建省自然科学基金(2016J01129)、福建省公益类科研院所专项(2015R1101012-9)和(2015R1018-7)、福建省种业创新与产业化工程项目(FJZZZY-1544)、福建省种业创新项目“福建芽胞杆菌资源保藏中心”、福建省农科院青年英才计划(YJRC2015-17)。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fzliubo@163.com

(2015)首次调查了武夷山各种地衣的表生和内生芽胞杆菌种类多样性,王子旋等(2012)对新疆不同地区的芽胞杆菌种类及其多样性进行了调查,结果显示新疆地区芽胞杆菌种类较丰富,不同地点芽胞杆菌在种类和数量上有很大差异。张华勇等(2003)对红壤地区不同生态系统的芽胞杆菌属种类多样性进行了分析,结果表明芽胞杆菌的物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数从林地、旱地、水田、侵蚀地呈递减趋势。苏旭东等(2007)对河北省植被覆盖率高、生态系统典型且较完整的地区土壤中的苏云金芽胞杆菌(*Bacillus thuringiensis*)菌株的多样性进行了研究,发现分离到的菌株产生的伴孢晶体形态各异,充分体现了河北省苏云金芽胞杆菌资源的多样性。Yen等(2013)分析了使用除草剂后台湾水稻田微生物的变化。但目前为止未见关于台湾地区芽胞杆菌种类多样性的研究报道。

台湾位于中国大陆东南沿海的大陆架上,地处119°18'03"-124°34'30" E, 20°45'25"-25°56'30" N之间,跨温带与热带,属于热带和亚热带气候。台湾四面环海,受海洋性季风调节,年平均温度除高山外约在22℃左右;地形中间高、两侧低,东部多山脉、中部多丘陵、西部多平原。台湾地区生态资源丰富,但目前对台湾地区芽胞杆菌多样性的研究仅局限于苏云金芽胞杆菌(Chak et al, 1994; Chen et al, 2004),对于其他芽胞杆菌种类分布尚未见报道。鉴于此,本研究对台湾不同市(县)土壤中芽胞杆菌种类多样性进行了调查分析。

1 材料与方法

1.1 土样采集

土样采集于台湾8个市/县。取0-20 cm深度的土壤样品,装入无菌自封袋,记录采样点的经纬度和生境类型等信息,带回实验室立即对芽胞杆菌进行分离。土壤样品采集信息见表1。

1.2 仪器和试剂

仪器: UVP Gel Doc-It TS Imaging System凝胶成像仪、Biometra温度梯度PCR仪、PowerPac Basic BIO-RAD电泳仪、离心机(eppendorf Centrifuge 5418R)。PCR扩增: 采用细菌通用16S rRNA引物27F和1492R, 引物由上海生物工程有限公司合成。PCR反应试剂: 10×Buffer, dNTP 10 mM, Taq酶(2.5

U/μL) (上海博尚生工生物工程技术服务有限公司), 100 bp Marker (上海英骏生物技术有限公司)。DNA提取试剂: 100 mM NaCl, 10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, Tris-saturated phenol。

1.3 芽胞杆菌的分离、鉴定及系统发育分析

称取10 g土壤样品至90 mL无菌水中,振荡混匀30 min后80℃水浴10 min。通过梯度稀释涂布法,在LB培养基平板上涂布分离培养获得土壤样品中的芽胞杆菌,具体方法参考刘国红等(2014)。根据菌落形态特征等对芽胞杆菌进行种类归类、计数及纯化,用-80℃甘油冷冻法保存。采用Tris-饱和酚法提取芽胞杆菌基因组DNA。采用通用细菌16S rRNA引物进行扩增、测序,主要参考Liu等(2014)的方法。16S rRNA基因扩增引物为27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')和1492R (5'-GGTACCTTGTTACGACTT-3') (Yoon et al, 1997)。检测出有条带的菌株PCR产物送至上海铂尚生物技术有限公司测序。将测序所得16S rRNA基因序列在网站上(<http://www.ezbiocloud.net/eztaxon/>)进行比对分析(Kim et al, 2012)。选择相关参考菌株序列,再经Clustal X对齐后(Thompson et al, 1997),利用生物软件Mega 6.0 (Tamura et al, 2013)、采用Neighbour-Joining方法和Jukes-Cantor模型构建系统发育树(Jukes & Cantor, 1969; Felsenstein, 1985; Saitou & Nei, 1987)。

1.4 芽胞杆菌种类分布多样性

分离频度是指某种芽胞杆菌在某个地点土样中被分离到的频率,即分离频度 = 某个种出现的样品数/总样品数×100%;分离频度大于50%的为优势种,介于30-50%之间的为最常见种,介于10-30%之间的为常见种,小于10%的为稀有种(张英等, 2003);通过计算分离频度可划分一个地区的优势种。根据鉴定结果,统计所有种类芽胞杆菌在不同地点土样中的分离频度,分析其分布多样性。

1.5 芽胞杆菌种类多样性聚类分析

采用物种丰富度(S)、Shannon-Wiener指数(H')测度不同采样地点芽胞杆菌的物种多样性(张华勇等, 2003)。

Shannon-Wiener多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$
式中, $P_i = N_i/N$, N_i 为*i*种芽胞杆菌的数量, N 为芽胞杆菌的总量。

表1 台湾土壤样本信息
Table 1 Information of soil samples from Taiwan

序号 No	土样编号 Soil no.	市/县 City/county	采集地点 Location	生境类型 Habitat type	采集日期 Collecting date
1	4570	台北市 Taipei City	阳明山花钟 Flower-clock, Yangmingshan	草地 Grassland	2011-08-28
2	4569		阳明山蒋介石雕像 Statue of Chaing Kai-shek, Yangmingshan	草地 Grassland	2011-08-28
3	4568		士林官邸 Chaing Kai-shek Shilin Residence	芭乐树下 Rhizosphere soils of a Guava tree	2011-08-28
4	4566		士林官邸 Chaing Kai-shek Shilin Residence	白千层树下 Rhizosphere soils of <i>Melaleuca alternifolia</i>	2011-08-28
5	4567	桃园县 Taoyuan County	士林官邸 Chaing Kai-shek Shilin Residence	草地 Grassland	2011-08-28
6	4559		慈湖石像 Stone in Tzuhu	裸土 Bare soil	2011-08-27
7	4561		慈湖蒋寝 Chiang Kai-shek Bedroom in Tzuhu	裸土 Bare soil	2011-08-27
8	4564		桃园大溪 Ta-Hsi town, Taoyuan	九里香根际 Rhizosphere soils of <i>Murraya paniculata</i>	2011-08-27
9	4562	新竹县 Hsinchu County	慈湖 Tzuhu	黄花槐 Rhizosphere soils of <i>Sophora xanthantha</i>	2011-08-27
10	4575		中坜高速休息区 Highway resting area, Chungli, Taoyuan	裸土 Bare soil	2011-08-29
11	4574		新竹食品研究所 Institute of Food Research, Hsinchu	草地 Grassland	2011-08-29
12	4576		苗栗县 Miaoli County	西湖高速休息区 Highway resting area, Xizi Bay Spot, Kaohsiung	2011-08-30
13	4572	台中市 Taichung City	台湾大学农学院 College of Agriculture, Taiwan University	草地 Grassland	2011-08-29
14	4582		中台寺 Chung Tai Temple	林地 Forest land	2011-08-27
15	4577		日月潭 Sun-Moon Lake	草地 Grassland	2011-08-30
16	4579		日月潭宏观音 Soils at Hongguan Temple, Sun-Moon Lake	草地 Grassland	2011-08-30
17	4583	嘉义市 Chiayi City	台一农场 Tai Yi Farm, Nantou	草地 Grassland	2011-08-31
18	4580		嘉义大学 Chiayi University	草地 Grassland	2011-08-31
19	4587		高雄农友种业 Kaohsiung Nongyou Seeding	草地 Grassland	2011-09-01
20	4585		高雄农友种业 Kaohsiung Nongyou Seeding	草地 Grassland	2011-09-01

以芽胞杆菌种类为样本, 以分离频度为指标构建矩阵, 采用欧氏距离类平均法, 利用SPSS16.0软件分析各种芽胞杆菌在台湾地区的分布特征。以土壤样本采集点为样本, 以芽胞杆菌种类分离频度为指标构建矩阵, 用欧氏距离和Ward’s法对台湾地区各市(县)土壤样本采集点进行聚类和相关性分析。

2 结果

2.1 台湾地区土壤芽胞杆菌分离与鉴定

从台湾8个市(县)采集的20份土样中, 分离获得芽胞杆菌136株。根据16S rRNA基因序列比对分析, 将136个菌株鉴定为2个属20个种, 其中芽胞杆菌属

(*Bacillus*) 16个种、赖氨酸芽胞杆菌属(*Lysinibacillus*) 4个种。菌种的16S rRNA序列已在GenBank上获得序列号(表2)。

2.2 台湾地区土壤芽胞杆菌系统发育

台湾地区分离的芽胞杆菌系统发育树见图1。苏云金芽胞杆菌(*B. thuringiensis*)、蜡样芽胞杆菌(*B. cereus*)、蕈状芽胞杆菌(*B. mycoides*)和假蕈状芽胞杆菌(*B. pseudomycoides*)聚在一起, 均为蜡样芽胞杆菌类群。枯草芽胞杆菌(*B. subtilis*)单独成一支, 与蜡样芽胞杆菌组菌株距离很近。解木糖赖氨酸芽胞杆菌(*Lysinibacillus xylanilyticus*)、长赖氨酸芽胞杆菌(*L. macroides*)、纺锤形赖氨酸芽胞杆菌(*L. fusi-*

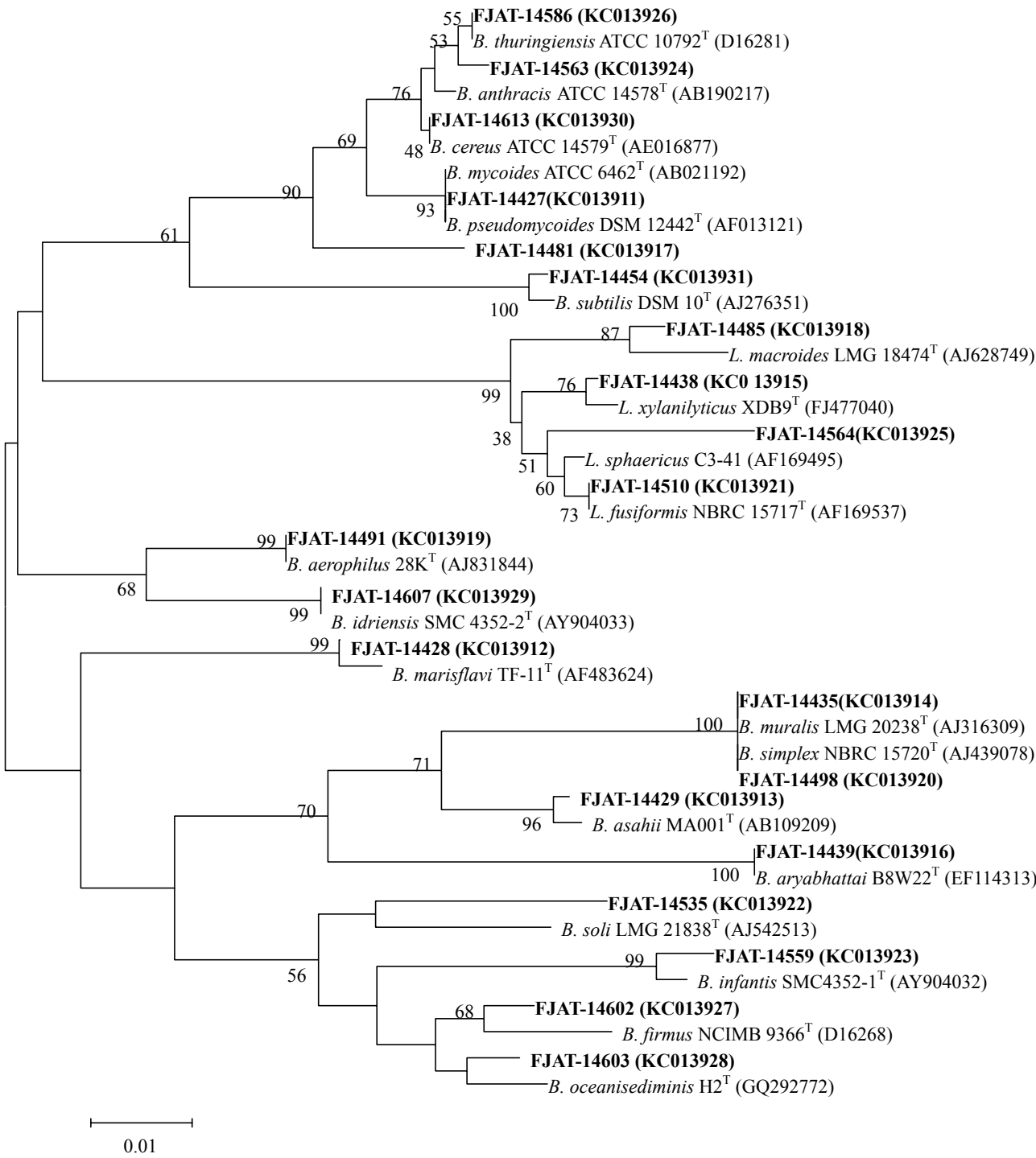


图1 基于16S rRNA基因序列构建的芽胞杆菌的NJ树。数字表示各节点的自展支持率数值(> 50%)
Fig. 1 Neighbor-joining (NJ) phylogenetic tree of *Bacillus*-like species based on 16S rRNA gene sequences. Numbers indicate bootstrap values (> 50%) of NJ.

formis)和球形赖氨酸芽胞杆菌(*L. sphaericus*)聚在一起, 均为赖氨酸芽胞杆菌属。嗜气芽胞杆菌(*B. aerophilus*)和病研所芽胞杆菌(*B. idriensis*)聚为一分支, 黄海芽胞杆菌(*B. marisflavi*)单独成一支。简单芽胞杆菌(*B. simplex*)、壁芽胞杆菌(*B. muralis*)、朝日芽胞杆菌(*B. asahii*)和阿氏芽胞杆菌(*B. aryabhatai*)聚

表2 台湾地区土壤中芽胞杆菌的16S rRNA鉴定
Table 2 Identification of *Bacillus*-like species by 16S rRNA sequencing

代表菌株 Strain	最相近菌种 Closed match	16S rRNA登录号 16S rRNA accession no.	相似性 Similarity (%)
FJAT-14427	假蕈状芽胞杆菌 <i>Bacillus pseudomycoides</i>	KC013911	100
FJAT-14428	黄海芽胞杆菌 <i>Bacillus marisflavi</i>	KC013912	99.71
FJAT-14429	朝日芽胞杆菌 <i>Bacillus asahii</i>	KC013913	99.87
FJAT-14435	简单芽胞杆菌 <i>Bacillus simplex</i>	KC013914	100
FJAT-14438	解木糖赖氨酸芽胞杆菌 <i>Lysinibacillus xylanilyticus</i>	KC013915	99.86
FJAT-14439	阿氏芽胞杆菌 <i>Bacillus aryabhatai</i>	KC013916	100
FJAT-14454	枯草芽胞杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	KC013931	99.89
FJAT-14481	蕈状芽胞杆菌 <i>Bacillus mycoides</i>	KC013917	97.98
FJAT-14485	长赖氨酸芽胞杆菌 <i>Lysinibacillus macroides</i>	KC013918	99.37
FJAT-14491	嗜气芽胞杆菌 <i>Bacillus aerophilus</i>	KC013919	100
FJAT-14498	壁芽胞杆菌 <i>Bacillus muralis</i>	KC013920	100
FJAT-14510	纺锤形赖氨酸芽胞杆菌 <i>Lysinibacillus fusiformis</i>	KC013921	100
FJAT-14535	土壤芽胞杆菌 <i>Bacillus soli</i>	KC013922	98.51
FJAT-14559	婴儿芽胞杆菌 <i>Bacillus infantis</i>	KC013923	99.81
FJAT-14564	球形赖氨酸芽胞杆菌 <i>Lysinibacillus sphaericus</i>	KC013925	98.81
FJAT-14586	苏云金芽胞杆菌 <i>Bacillus thuringiensis</i>	KC013926	100
FJAT-14602	坚强芽胞杆菌 <i>Bacillus firmus</i>	KC013927	98.86
FJAT-14603	海洋沉积芽胞杆菌 <i>Bacillus oceanisediminis</i>	KC013928	98.95
FJAT-14607	病研所芽胞杆菌 <i>Bacillus idriensis</i>	KC013929	100
FJAT-14613	蜡样芽胞杆菌 <i>Bacillus cereus</i>	KC013930	100

为一分支, 其中简单芽胞杆菌和壁芽胞杆菌亲缘关系较近。土壤芽胞杆菌(*B. soli*)、婴儿芽胞杆菌(*B. infantis*)、坚强芽胞杆菌(*B. firmus*)和海洋沉积芽胞杆菌(*B. oceanisediminis*)构成一个大的分支, 其中坚强芽胞杆菌和海洋沉积芽胞杆菌构成一个分支, 亲缘关系比较近, 而土壤芽胞杆菌单独成一支。

2.3 台湾地区芽胞杆菌分布多样性

对从台湾地区6个地点土壤中不同芽胞杆菌的分离频度进行统计, 结果见表3。台湾地区的芽胞杆菌优势种为阿氏芽胞杆菌、苏云金芽胞杆菌和蜡样芽胞杆菌。不同地点的优势种具有一定的差异, 其中苏云金芽胞杆菌为所有采集点的优势种, 阿氏芽胞杆菌为大多数采集点的优势种。阿氏芽胞杆菌、苏云金芽胞杆菌和假蕈状芽胞杆菌为台北市的优势种, 阿氏芽胞杆菌、苏云金芽胞杆菌和蜡样芽胞杆菌为桃园县的优势种, 阿氏芽胞杆菌和苏云金芽胞杆菌为南投县的优势种。由于其他地区采集土壤样本数量较少, 无法准确地判断其优势种群。

苏云金芽胞杆菌在台湾采集的所有土壤样品中均分离获得, 为台湾地区土壤中广泛分布的芽胞杆菌。有些芽胞杆菌种类仅在某些采集地分离获得,

如简单芽胞杆菌、朝日芽胞杆菌、枯草芽胞杆菌仅在台北市土壤中分离获得, 球形赖氨酸芽胞杆菌和蕈状芽胞杆菌只在南投县分离获得, 长赖氨酸芽胞杆菌和婴儿芽胞杆菌只在苗栗县分离获得, 土壤芽胞杆菌和嗜气芽胞杆菌只在台中市分离获得, 病研所芽胞杆菌和海洋沉积芽胞杆菌只在嘉义市分离获得, 为市(县)特异性芽胞杆菌。

2.4 台湾地区芽胞杆菌种类多样性聚类分析

台湾地区8个点土壤中芽胞杆菌种类多样性见表4。台中市和嘉义市土壤中的芽胞杆菌种类Shannon指数均指最高, 皆为2.5850。其次为苗栗县, Shannon指数为2.3220, 最低的为桃园县, Shannon指数分别为1.2925。

以芽胞杆菌种类为样本, 以分离频度为指标构建矩阵, 用欧氏距离和类平均聚类法对芽胞杆菌种类在各市(县)的分布进行聚类分析, 结果见图2。当欧式距离 $\lambda = 20$ 时, 可将这些芽胞杆菌种群分为2大类群, 第I类群为高频度分布, 包含阿氏芽胞杆菌和苏云金芽胞杆菌, 分离频度在85%以上; 第II类群为低频度分布, 包含除第I类群外的18种芽胞杆菌, 其分离频度低于60%。

表3 台湾各县市芽胞杆菌种类分离频度(%)

Table 3 The frequency (%) of *Bacillus*-like species isolated from soils in Taiwan

种名 Species	台北市 Taipei City	桃园县 Taoyuan County	新竹县 Hsinchu County	苗栗县 Miaoli County	南投县 Nantou County	台中市 Taichung City	嘉义市 Chiayi City	高雄市 Kaohsiung City	总体 Total
阿氏芽胞杆菌 <i>Bacillus aryabhatai</i>	100	100	0	0	75	100	0	100	85
苏云金芽胞杆菌 <i>B. thuringiensis</i>	80	80	100	100	75	100	100	50	75
蜡样芽胞杆菌 <i>B. cereus</i>	20	80	0	0	25	100	100	0	55
假蕈状芽胞杆菌 <i>B. pseudomycooides</i>	60	20	0	0	0	0	100	100	35
解木糖赖氨酸芽胞杆菌 <i>Lysinibacillus xylanilyticus</i>	20	40	0	0	25	0	0	0	25
纺锤形赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. fusiformis</i>	0	20	100	0	0	100	0	50	15
壁芽胞杆菌 <i>B. muralis</i>	0	20	100	0	0	0	0	0	10
黄海芽胞杆菌 <i>B. marisflavi</i>	20	0	100	0	0	0	0	0	10
坚强芽胞杆菌 <i>B. firmus</i>	0	0	0	100	0	0	100	0	10
简单芽胞杆菌 <i>B. simplex</i>	40	0	0	0	0	0	0	0	10
土壤芽胞杆菌 <i>B. soli</i>	0	0	0	0	0	100	0	0	10
蕈状芽胞杆菌 <i>B. mycooides</i>	0	0	0	0	25	0	0	0	5
朝日芽胞杆菌 <i>B. asahii</i>	20	0	0	0	0	0	0	0	5
枯草芽胞杆菌 <i>B. subtilis</i>	20	0	0	0	0	0	0	0	5
嗜气芽胞杆菌 <i>B. aerophilus</i>	0	0	0	0	0	100	0	0	5
<i>L. macroides</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	5
婴儿芽胞杆菌 <i>B. infantis</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	5
球形赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. sphaericus</i>	0	0	0	0	25	0	0	0	5
病研所芽胞杆菌 <i>B. idriensis</i>	0	0	0	0	0	0	100	0	5
海洋沉积芽胞杆菌 <i>B. oceanisediminis</i>	0	0	0	0	0	0	100	0	5

表4 台湾各县市样本芽胞杆菌种类多样性

Table 4 The diversity of *Bacillus*-like species of the soil samples of counties and cities in Taiwan

样本编号 Sample no.	样本来源 Source	菌种数 Strain number	Shannon指数 Shannon index (H')	Shannon指数平均值 Average of Shannon index
4570	台北市 Taipei City	6	2.5850	2.0850
4569		5	2.3220	
4568		4	2.0000	
4566		5	2.3220	
4567		3	1.5850	
4559	桃园县 Taoyuan County	2	1.0000	1.2925
4561		5	2.3220	
4564		4	2.0000	
4562		5	2.3220	
4575		3	1.5850	
4574	新竹县 Hsinchu County	4	2.0000	2.0000
4576	苗栗县 Miaoli County	5	2.3220	
4572	台中市 Taichung City	6	2.5850	
4582	南投县 Nantou County	3	1.5850	
4577		3	1.5850	
4579		4	2.0000	2.5850
4583		3	1.5850	
4580	嘉义市 Chiayi City	6	2.5850	
4585	高雄市 Kaohsiung City	3	1.5850	
4587		4	2.0000	

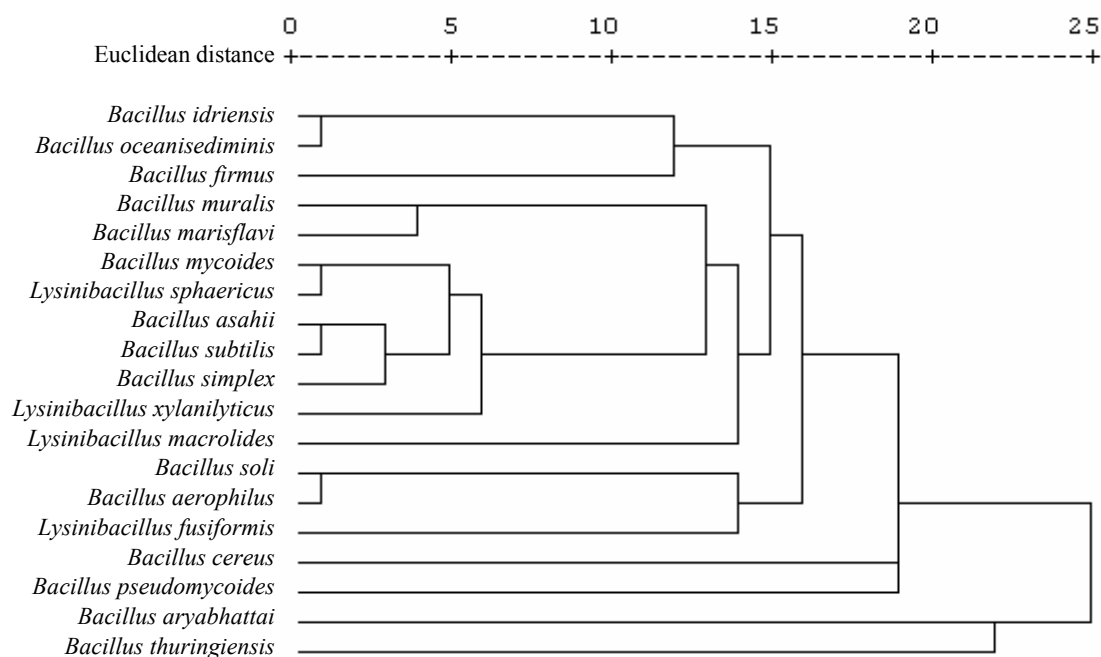


图2 基于芽胞杆菌分离频度采用欧氏距离模型和Ward's法构建的台湾地区芽胞杆菌种类的聚类树

Fig. 2 A dendrogram of *Bacillus*-like species isolated from Taiwan based on frequency of *Bacillus*-like species. The Ward's method and Euclidean distance model were used to construct dendrogram.

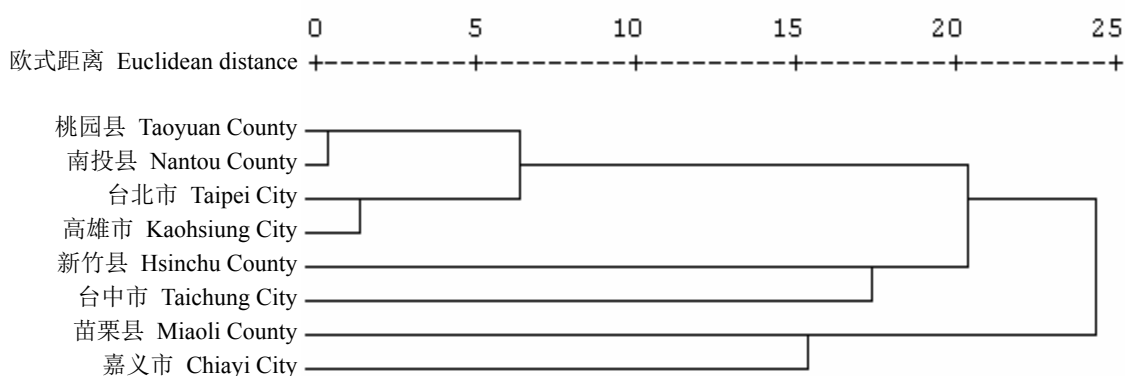


图3 基于芽胞杆菌分离频度采用欧氏距离模型和Ward's法构建的台湾地区土样采集点聚类树

Fig. 3 A dendrogram of collection sites in Taiwan based on frequency of *Bacillus*-like species. The Ward's method and Euclidean distance model were used to construct dendrogram.

以土壤样本采集点为样本, 以芽胞杆菌种类分离频度为指标构建矩阵, 用欧氏距离和Ward法对台湾地区各市(县)芽胞杆菌种类进行聚类分析, 结果见图3。当欧氏距离 $\lambda = 17$ 时, 可将台湾8个土壤样本采集点划分为3类: 第一类包含嘉义市和苗栗县, 第二类包含台中市和新竹县, 第三类包含高雄市、台北市、南投县和桃园县。

8个采样点按地理位置从北到南依次为台北市、桃园县、新竹县、苗栗县、南投县、台中市、

嘉义市和高雄市, 但由图3可知, 台湾地区土壤样本采集点并没有依据地理位置顺序进行聚类, 由此可推断台湾地区土壤中的芽胞杆菌种类分布与采样点的地理位置没有相关性。

3 讨论

从台湾地区土壤中样本中共获得了芽胞杆菌136株, 鉴定为2个属的20个种。8个县(市)采样点土壤中的芽胞杆菌种类分布差异较大。本研究从台湾

8个市(县)土壤中分离到了一些特有的芽胞杆菌,多数种类未见在台湾地区本土土壤分离获得的文献报道。朝日芽胞杆菌主要分布在土壤中,尚没有在台湾本土土壤中分离到该菌的报道。关于此菌的文献报道较少,首次报道是从日本土壤分离获得(Yumoto et al, 2004),此后Yadav等(2011)从纸浆厂废水灌溉的土壤中分离获得了该菌,刘国红等(2014)从玉米田也分离获得了该菌。

嗜气芽胞杆菌首次分离自收集高海拔空气样本的冻存管中(Shivaji et al, 2006)。Liu等(2015)基于基因组序列分析发现嗜气芽胞杆菌、高地芽胞杆菌(*B. altitudinis*)和*B. stratosphericus*是同一物种。已有文献报道嗜气芽胞杆菌亦主要分布在土壤中(Jariyal et al, 2014; Sharma et al, 2014),本文首次报道台湾土壤中有该菌,且仅分布在台中土壤中。

长赖氨酸芽胞杆菌是2012年发表的芽胞杆菌新种(Coorevits et al, 2012),未见其他报道,本研究首次在台湾地区土壤中分离到该种。婴儿芽胞杆菌和病研所芽胞杆菌(Ko et al, 2006)分离自新生儿败血症患者,海洋沉积芽胞杆菌首次分离自中国南海的沉积物中(Zhang et al, 2010)。尚未见上述3种芽胞杆菌分布的其他报道,本研究在台湾地区土壤中首次分离获得。

土壤是芽胞杆菌的主要生存环境,农田、草地、山地、平原等生境中的优势菌群均为芽胞杆菌(胡容平等, 2010)。龚国淑等(2009)分析了成都市郊区表层土样芽胞杆菌的空间分布特征,刘秀花等(2006)调查了河南省不同地区土壤中芽胞杆菌资源,皆发现土壤中含有丰富的芽胞杆菌且为优势种群。石春芝等(2001)发现神农架自然保护区大九湖中亦蕴藏着丰富的芽胞杆菌种类。本研究调查结果表明台湾地区土壤中芽胞杆菌种类丰富,具有较高的生物多样性指数,其优势种为苏云金芽胞杆菌、阿氏芽胞杆菌和蜡样芽胞杆菌,前两者为台湾土壤中主要的优势种。苏云金芽胞杆菌和阿氏芽胞杆菌在80%的样本中均有分离获得,蜡样芽胞杆菌分布在55%的采集土壤样本中,其余种类的分布极其不均匀,大部分种类仅在一个地区或少数地区土壤样本中分离获得,如简单芽胞杆菌、朝日芽胞杆菌、枯草芽胞杆菌、土壤芽胞杆菌、嗜气芽胞杆菌、长赖氨酸芽胞杆菌、婴儿芽胞杆菌和蕈状芽胞杆菌等分别为地区特有的芽胞杆菌。

阿氏芽胞杆菌是一类分布广泛且具有开发潜力的类群。自Shivaji等(2009)首次发表阿氏芽胞杆菌物种以来,大量文献报道阿氏芽胞杆菌广泛分布于各种生境中,如农田(刘国红等, 2014)、冰芯(Antony et al, 2012)、贫瘠的土壤(Lee et al, 2012)、深海(Wen et al, 2015)、海岸滩涂(Siddikee et al, 2010)等,而且为优势种群。本文从台湾土壤草地、根际土及裸土中获得了大量的阿氏芽胞杆菌,这与前人研究具有高度一致性。

苏云金芽胞杆菌(Bt),是农业上已被广泛用于害虫生物防治的昆虫病原细菌。王小奇等(2016)从500个Bt菌株中筛选获得了对大黑鳃金龟甲幼虫具有较高杀虫活性的Bt,具有很大的开发潜力。林白容等(2014)从永春天湖山矿区采集的159份样品中分离出1株具有多种功能的Bt,为发现新资源、新型杀虫蛋白基因以及利用微生物治理重金属污染提供了基础资料。王志鑫等(2014)调查了河北省各县市土壤中的Bt资源,分离出42个Bt菌株,其中10株含有cry8型基因,可为蛱蝶类害虫的防治提供资源。苏云金芽胞杆菌是台湾土壤中的主要优势种,这为挖掘新型Bt菌株和基因提供了丰富的资源。

蜡样芽胞杆菌是自然界常见的一种芽胞杆菌,主要分布于土壤、尘埃和水中,在农业、工业和医药等领域有着广泛的应用价值。Ramya等(2016)发现蜡样芽胞杆菌能降解化学农药高灭磷。Gao等(2016)分离获得的蜡样芽胞杆菌(*B. cereus* S2)产生的鞘氨醇具有高效杀线虫活性。台湾土壤中含有较为丰富的蜡样芽胞杆菌资源,为其功能开发和利用提供了基础。

本研究从台湾地区土壤中获得了丰富的阿氏芽胞杆菌、苏云金芽胞杆菌和蜡样芽胞杆菌资源,同时也提供了台湾地区未报道过的芽胞杆菌种类,可为芽胞杆菌菌剂开发利用提供参考。

参考文献

- Antony R, Krishnan KP, Laluraj CM, Thamban M, Dhakephalkar PK, Engineer AS, Shivaji S (2012) Diversity and physiology of culturable bacteria associated with a coastal Antarctic ice core. *Microbiological Research*, 167, 372–380.
- Chak KF, Chao DC, Tseng MY, Kao SS, Tuan SJ, Feng TY (1994) Determination and distribution of cry-type genes of *Bacillus thuringiensis* isolates from Taiwan. *Applied and Environmental Microbiology*, 60, 2415–2420.
- Chen FC, Tsai MC, Peng CH, Chak KF (2004) Dissection of

- cry gene profiles of *Bacillus thuringiensis* isolates in Taiwan. *Current Microbiology*, 48, 270–275.
- Coorevits A, Dinsdale AE, Heyrman J, Schumann P, Van Landschoot A, Logan NA, De Vos P (2012) *Lysinibacillus macroides* sp. nov., nom. rev. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62, 1121–1127.
- Felsenstein J (1985) Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39, 783–789.
- Gao H, Qi G, Yin R, Zhang H, Li C, Zhao X (2016) *Bacillus cereus* strain S2 shows high nematocidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine. *Scientific Reports*, 6, 28756.
- Ge CB, Liu B, Che JM, Chen MC, Liu GH, Wei JC (2015) Diversity of *Bacillus* species inhabiting on the surface and endophyte of lichens collected from Wuyi Mountain. *Acta Microbiologica Sinica*, 55, 551–563. (in Chinese with English abstract) [葛慈斌, 刘波, 车建美, 陈梅春, 刘国红, 魏江春 (2015) 武夷山地衣表生和内生芽胞杆菌种群的多样性. *微生物学报*, 55, 551–563.]
- Gong GS, Tang ZY, Deng XJ, Zhang SR, Yang JZ (2009) Spatial distribution and species diversity of soil *Bacillus* spp. in Chengdu suburbs. *Chinese Journal of Ecology*, 28, 2009–2013. (in Chinese with English abstract) [龚国淑, 唐志燕, 邓象洁, 张世熔, 杨继芝 (2009) 成都郊区土壤芽胞杆菌的空间分布及其多样性. *生态学杂志*, 28, 2009–2013.]
- Hu RP, Gong GH, Zhang H, Zhang SR, Lu DH, Liu X, Ye HL (2010) Study on soil bacteria in Zheduo and Que'er Mountains. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 23, 1565–1570. (in Chinese with English abstract) [胡容平, 龚国淑, 张洪, 张世熔, 卢代华, 刘旭, 叶慧丽 (2010) 四川甘孜州折多山与雀儿山地区土壤细菌的研究. *西南农业学报*, 23, 1565–1570.]
- Jariyal M, Gupta VK, Mandal K, Jindal V, Banta G, Singh B (2014) Isolation and characterization of novel phosphate-degrading bacterial species from agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 2214–2222.
- Jukes TH, Cantor CR (1969) Evolution of protein molecules. In: *Mammalian Protein Metabolism*, Vol. 3 (ed. Munro HN), pp. 21–132. Academic Press, New York.
- Kim OS, Cho YJ, Lee K, Yoon SH, Kim M, Na H, Park SC, Jeon YS, Lee JH, Yi H, Won S, Chun J (2012) Introducing EzTaxon-e: a prokaryotic 16S rRNA gene sequence database with phylotypes that represent uncultured species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62, 716–721.
- Ko KS, Oh WS, Lee MY, Lee JH, Lee H, Peck KR, Lee NY, Song JH (2006) *Bacillus infantis* sp. nov. and *Bacillus idriensis* sp. nov., isolated from a patient with neonatal sepsis. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 2541–2544.
- Lee S, Ka JO, Song HG (2012) Growth promotion of *Xanthium italicum* by application of rhizobacterial isolates of *Bacillus aryabhattai* in microcosm soil. *The Journal of Microbiology*, 50, 45–49.
- Lin BR, Zhang QP, Wang YB, Guan X (2014) Isolation and identification of *Bacillus thuringiensis* (Bt) from coalfields. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 22, 1402–1410. (in Chinese with English abstract) [林白容, 章秋萍, 王毅斌, 关雄 (2014) 煤矿中苏云金芽胞杆菌(Bt)菌株的分离及其鉴定. *农业生物技术学报*, 22, 1402–1410.]
- Liu B, Liu GH, Hu GP, Chen MC (2014) *Bacillus mesonae* sp. nov., isolated from the root of *Mesona chinensis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64, 3346–3352.
- Liu GH, Zhu YJ, Liu B, Che JM, Tang JY, Pan ZZ, Chen ZH (2014) Diversity of culturable *Bacillus* species from maize (*Zea mays*) rhizosphere soil. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 22, 1367–1379. (in Chinese with English abstract) [刘国红, 朱育菁, 刘波, 车建美, 唐建阳, 潘志针, 陈泽辉 (2014) 玉米根际土壤芽胞杆菌的多样性. *农业生物技术学报*, 22, 1367–1379.]
- Liu XH, Liang F, Liu Y, Zhai XL (2006) Genus *Bacillus* resources of soils in Henan Province. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 35(8), 67–71. (in Chinese with English abstract) [刘秀花, 梁峰, 刘茵, 翟兴礼 (2006) 河南省土壤中芽胞杆菌属资源调查. *河南农业科学*, 35(8), 67–71.]
- Liu Y, Ramesh Kumar N, Lai Q, Du J, Dobritsa AP, Samadpour M, Shao Z (2015) Identification of strains *Bacillus aerophilus* MTCC 7304^T as *Bacillus altitudinis* and *Bacillus stratosphericus* MTCC 7305^T as a *Proteus* sp. and the status of the species *Bacillus aerius* Shivaji et al. 2006. Request for an opinion. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65, 3228–3231.
- Ramya SL, Venkatesan T, Murthy KS, Jalali SK, Varghese A (2016) Degradation of acephate by *Enterobacter asburiae*, *Bacillus cereus* and *Pantoea agglomerans* isolated from diamondback moth *Plutella xylostella* (L), a pest of cruciferous crops. *Journal of Environmental Biology*, 37, 611–618.
- Saitou N, Nei M (1987) The neighbor joining method: a new method for reconstructing phylogenetic tree. *Molecular Biology and Evolution*, 4, 406–425.
- Sharma S, Singh B, Gupta VK (2014) Biodegradation of imidacloprid by consortium of two soil isolated *Bacillus* sp. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93, 637–642.
- Shi CZ, Tao TS, Yue YY (2001) The resources of *Bacillus* in Dajiu Lake of Shennongjia Nature Reserve region. *Amino Acids & Biotic Resources*, 23(1), 1–4. (in Chinese with English abstract) [石春芝, 陶天申, 岳莹玉 (2001) 神农架自然保护区大九湖芽胞杆菌资源调查. *氨基酸和生物资源*, 23(1), 1–4.]
- Shivaji S, Chaturvedi P, Begum Z, Pindi PK, Manorama R, Padmanaban DA, Shouche YS, Pawar S, Vaishampayan P, Dutt CB, Datta GN, Manchanda RK, Rao UR, Bhargava PM, Narlikar JV (2009) *Janibacter hoylei* sp. nov., *Bacillus isronensis* sp. nov. and *Bacillus aryabhattai* sp. nov., iso-

- lated from cryotubes used for collecting air from the upper atmosphere. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 2977–2986.
- Shivaji S, Chaturvedi P, Suresh K, Reddy GS, Dutt CB, Wainwright M, Narlikar JV, Bhargava PM (2006) *Bacillus aerius* sp. nov., *Bacillus aerophilus* sp. nov., *Bacillus stratosphericus* sp. nov. and *Bacillus altitudinis* sp. nov., isolated from cryogenic tubes used for collecting air samples from high altitudes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 1465–1473.
- Siddikee MA, Chauhan PS, Anandham R, Han GH, Sa T (2010) Isolation, characterization, and use for plant growth promotion under salt stress, of ACC deaminase-producing halotolerant bacteria derived from coastal soil. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20, 1577–1584.
- Su XD, Zhang W, Yuan YW, Li YJ, Ma W, Tan JX (2007) Research on the diversity of *Bacillus thuringiensis* in some areas of Hebei Province. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 35, 5540–5541. (in Chinese with English abstract) [苏旭东, 张伟, 袁耀武, 李英军, 马雯, 檀建新 (2007) 河北省部分地区苏云金芽胞杆菌菌株多样性的研究. *安徽农业科学*, 35, 5540–5541.]
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipski A, Kumar S (2013) MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30, 2725–2729.
- Thompson JD, Gibson TJ, Plewni F (1997) The Clustal X Windows interface flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Research*, 24, 4876–4882.
- Wang XQ, Shu CL, Jiang J, Zhang FJ, Liu CQ, Zhang J (2016) Screening and identification of cry genes from *Bacillus thuringiensis* isolates highly toxic to the larvae of *Holotrichia obliqua*. *Acta Phytophylogica Sinica*, 43, 483–492. (in Chinese with English abstract) [王小奇, 束长龙, 蒋健, 张凤娇, 刘春琴, 张杰 (2016) 对大黑鳃金龟甲幼虫高效的苏云金芽胞杆菌筛选及cry基因鉴定. *植物保护学报*, 43, 483–492.]
- Wang ZX, Shu CL, Shen PL, Su XD, Li ZH, Yu Y, Zhang XZ, Ma W, Tan JX (2014) Isolation and identification of *Bacillus thuringiensis* strains containing cry8 genes. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 29(6), 149–154. (in Chinese with English abstract) [王志鑫, 束长龙, 申培立, 苏旭东, 李志辉, 于妍, 张先舟, 马雯, 檀建新 (2014) 含cry8型基因苏云金芽胞杆菌的分离和鉴定. *华北农学报*, 29(6), 149–154.]
- Wang ZX, Liu B, Lin YZ, Liu GH (2012) Collection, identification and phylogenetic diversity of *Bacillus* species in soil samples from Xinjiang. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 27, 187–195. (in Chinese with English abstract) [王子旋, 刘波, 林营志, 刘国红 (2012) 新疆土壤芽胞杆菌采集鉴定及其分布多样性. *福建农业学报*, 27, 187–195.]
- Wen J, Ren C, Huang N, Liu Y, Zeng R (2015) Draft genome of bagasse-degrading bacteria *Bacillus aryabhatai* GZ03 from deep sea water. *Marine Genomics*, 19, 13–14.
- Yadav S, Kaushik R, Saxena AK, Arora DK (2011) Genetic and functional diversity of *Bacillus* strains in the soils long-term irrigated with paper and pulp mill effluent. *Journal of General and Applied Microbiology*, 57, 183–195.
- Yen JH, Wang YS, Hsu WS, Chen WC (2013) Phylogenetic changes in soil microbial and diazotrophic diversity with application of butachlor. *Journal of Environmental Science and Health part B: Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 48, 49–56.
- Yoon JH, Lee JS, Kook SY, Park YH, Lee ST (1997) Reclassification of *Nocardioideis simplex* ATCC 13260, ATCC 19565, and ATCC 19566 as *Rhodococcus erythropolis*. *International of Systematic Bacteriology*, 47, 904–907.
- Yumoto I, Hirota K, Yamaga S, Nodasaka Y, Kawasaki T, Matsuyama H, Nakajima K (2004) *Bacillus asahii* sp. nov., a novel bacterium isolated from soil with the ability to deodorize the bad smell generated from short-chain fatty acids. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 1997–2001.
- Zhang HY, Li ZG, Wang JH, Pan YH (2003) Diversity of *Bacillus* species in different red soil eco-systems. *Soils*, 35(1), 45–47. (in Chinese with English abstract) [张华勇, 李振高, 王俊华, 潘映华 (2003) 红壤生态系统下芽胞杆菌的物种多样性. *土壤*, 35(1), 45–47.]
- Zhang J, Wang J, Fang C, Song F, Xin Y, Qu L, Ding K (2010) *Bacillus oceanisediminis* sp. nov., isolated from marine sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60, 2924–2929.
- Zhang Y, Guo LD, Liu RJ (2003) Diversity and ecology of arbuscular mycorrhizal fungi in Dujiangyan. *Acta Phytocologica Sinica*, 27, 537–544. (in Chinese with English abstract) [张英, 郭良栋, 刘润进 (2003) 都江堰地区丛枝菌根真菌多样性与生态研究. *植物生态学报*, 27, 537–544.]

(责任编辑: 东秀珠 责任编辑: 时意专)

• 研究报告 •

武夷山自然保护区土壤可培养芽胞杆菌的物种多样性及分布

葛慈斌 郑榕 刘波* 刘国红 车建美 唐建阳

(福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福州 350003)

摘要: 为了解武夷山自然保护区土壤中可培养芽胞杆菌的分布状况, 2012年6月从该保护区的黄岗山顶、中部、底部和桐木关、挂墩、大竹岚等6个地点采集土样75份。用80℃水浴加热、稀释平板法进行芽胞杆菌的分离, 并根据16S rRNA基因序列分析对菌株进行初步鉴定。从土样中分离出芽胞杆菌418株, 鉴定为8个属42个种, 其中*Bacillus*属的种数最多, 有20种, *Paenibacillus*属和*Lysinibacillus*属分别有8种和7种。不同地点分离到的芽胞杆菌在种类、数量上存在差异: 从大竹岚土壤中分离到的芽胞杆菌种类最多, 从黄岗山中部和底部分离到的种类数则较少; 挂墩、大竹岚土壤中芽胞杆菌的数量较大, 达 3.6×10^6 cfu/g以上, 而黄岗山顶部和中部土壤中的数量则少于 4.9×10^5 cfu/g。*Bacillus cereus*、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*和*Lysinibacillus xylanilyticus*等4个种在6个地点的土样中均有分离到, 其中*B. thuringiensis*、*L. xylanilyticus*是该保护区土壤中的优势种。桐木关土壤中芽胞杆菌的种类多样性和均匀度指数都比其他5个地点的高, 而挂墩土壤中芽胞杆菌的Shannon-Wiener多样性、均匀度和优势度指数都最低。*B. mycoides*和*B. thuringiensis*的数量与海拔显著相关, 相关系数分别为0.852和-0.834, *B. cereus*、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*的分离频度与海拔的相关性极显著, 相关系数分别为0.960、0.952和-0.931。研究结果表明, 武夷山自然保护区土壤中可培养芽胞杆菌的种类丰富、数量较大, 具有较高的多样性。

关键词: 武夷山自然保护区; 芽胞杆菌; 16S rRNA; 多样性; 分离频度

Diversity and distribution of cultivable *Bacillus*-like species in soils collected from Wuyishan Nature Reserve

Cibin Ge, Rong Zheng, Bo Liu*, Guohong Liu, Jianmei Che, Jianyang Tang

Institute of Agrobiological Resources, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003

Abstract: The present paper reported the distribution and diversity of cultivable *Bacillus*-like species in soils from Wuyishan National Nature Reserve. In June 2012, 75 soil samples were collected from the peak, middle and base of the Huanggang Mountain, Tongmuguan, Guadun, and Dazhulan in the reserve. The *Bacillus*-like species were isolated by plating the series dilution after 80℃ water bath heating the soil samples and then identified using 16S rRNA gene sequence analysis. Results showed that 418 strains isolated from the soil samples belonged to 42 *Bacillus*-like species, which were grouped into eight genera containing *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Fictibacillus*, *Lysinibacillus*, *Paenibacillus*, *Psychrobacillus*, *Rummeliibacillus* and *Viridibacillus*. Furthermore, *Bacillus* was the dominant genus, followed by the genera *Paenibacillus* and *Lysinibacillus*. The greatest number of *Bacillus*-like species was isolated from the soils in Dazhulan, while the fewest were found at the middle and base of Huanggang Mountain. The quantities of *Bacillus*-like species in soils collected from Guadun and Dazhulan were more than 3.6×10^6 cfu/g soil, but less than 4.9×10^5 cfu/g soil at the top and middle of Huanggang Mountain. *Bacillus cereus*, *B. mycoides*, *B. thuringiensis*, and *Lysinibacillus xylanilyticus* were isolated from all six sites, which were dominated by *B. thuringiensis* and *L. xylanilyticus*. The Shannon-Wiener diversity index and Pielou's evenness index for *Bacillus*-like species isolated from

收稿日期: 2016-03-27; 接受日期: 2016-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(31370059)、福建省省属公益类科研院所专项(2015R1018-12)、公益性行业(农业)科研专项(201303094)和科技部国际合作项目(2012DFA31120)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fzliubo@163.com

Tongmuguan were higher than those at the other five sites, while the lowest Shannon-Wiener diversity index, Pielou's evenness index and Simpson index values were found in the soils from Guadun. There was a significant correlation between the altitude and the quantity of *B. mycoides* and *B. thuringiensis*, with correlations of 0.852 and -0.834, respectively. Additionally, highly significant correlations were found between the altitude and the isolating frequency of *B. cereus*, *B. mycoides* and *B. thuringiensis*, with correlations of 0.960, 0.952 and -0.931, respectively. These results indicated the abundance and diversity of the *Bacillus*-like species community and bacteria species were extremely rich in Wuyishan Nature Reserve.

Key words: Wuyishan Nature Reserve; *Bacillus*-like species; 16S rRNA; diversity; isolating frequency

芽胞杆菌由于能够产生对热、盐碱、紫外线和电磁辐射等有很强抗性的芽胞, 可以适应各种不良环境, 因此在自然界分布广泛, 在极端环境如温泉(Yazdani et al, 2009)、沙漠(Köberl et al, 2011)、南极(Sophie et al, 2011)、火山(Kim et al, 2011)、深海(Gartner et al, 2011)等都有它们的踪迹。芽胞杆菌种类繁多, 且能产生多种多样的生物活性物质, 因此在工农业、医药卫生、环保等领域有着广泛的应用(郭小华等, 2010; Sanahuja et al, 2011; Chen et al, 2012); 此外, 芽胞杆菌中的某些种类可用作模式微生物, 在分子生物学、病理学、基因组学、转录组学等领域的研究中发挥着重要作用。因此调查、挖掘特定区域内芽胞杆菌的资源, 分离、描述和保存具有不同生理特性的菌株并开展鉴定, 对于深入开发、应用芽胞杆菌资源具有重要的意义。

刘敏等(2014)从海南东寨港红树林海漆林区土壤中分离到276株芽胞杆菌, 主要属于芽胞杆菌属(*Bacillus*)、枝芽胞杆菌属(*Virgibacillus*)、大洋芽胞杆菌属(*Oceanobacillus*)等6个属。Vasudevan等(2015)分析了印度Western Ghats山脉南部土壤中细菌群落的多样性, 结果表明在分离出的171株细菌中, 83.3%的菌株归为厚壁菌门, 其中又以芽胞杆菌属菌株为主。王子旋等(2012)对新疆喀什、阿克苏等4个地点土壤的芽胞杆菌进行调查, 结果显示这些地方土壤的芽胞杆菌较丰富, 不同采样地点芽胞杆菌的种类和数量都有较大差异, 每个地点都含有其特有的芽胞杆菌。张文飞等(2009)系统地对海南岛4个热带雨林自然保护区进行了土壤样品采集、芽胞杆菌分离收集和苏云金芽胞杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)菌株的鉴定, 分离出芽胞杆菌3,924份, 鉴定出Bt分离株158份, 为深入利用有用菌株和有价值基因奠定了基础。

武夷山自然保护区位于福建省北部(117°27'–

117°51' E, 27°35'–27°54' N), 面积565 km², 平均海拔1,200 m, 拥有世界上同纬度带现存面积最大、保存最完整的中亚热带森林生态系统, 动植物资源十分丰富, 以生物模式标本众多而名扬海内外。近年来, 各地学者对武夷山自然保护区内植物(李振基等, 2002; 方燕鸿, 2005; 王良桂和徐晨, 2010)、昆虫(汪家社, 2006, 2007)、贝类(周卫川等, 2011)、土壤动物(王邵军等, 2010)等的种类、群落状况、分布等进行了广泛的研究, 揭示了该保护区的生物多样性状况。

有关武夷山自然保护区土壤微生物多样性的研究也较多。如吴则焰等(2013, 2014)分别用磷脂脂肪酸标记法(PLFA)、Biolog技术分析了该保护区不同植被类型土壤微生物的群落结构特征, 庄铁成等(1997)用培养法研究了不同森林类型土壤异养微生物数量和细菌、放线菌与真菌等三大类群微生物的组成变化。但涉及到该保护区土壤中芽胞杆菌多样性的研究还未见报道。并且受到地理位置、植物群落、气候和土壤条件等诸多环境因子的影响, 不同区域、不同生境的芽胞杆菌资源在分布、种类和数量上会存在一定差异(张薇等, 2005)。为此, 本研究从武夷山自然保护区土壤中分离芽胞杆菌, 并对其遗传多样性与系统发育关系进行分析, 以便了解该保护区土壤中芽胞杆菌的多样性与种类分布, 为开发、利用该保护区的芽胞杆菌资源提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

在武夷山自然保护区内的黄岗山顶、黄岗山中部、黄岗山底部、挂墩、大竹岚和桐木关6个地点, 采用5点法采集不同植被条件下0–30 cm深度范围内的土壤, 装入灭菌袋, 带回实验室, 经风干、过筛后, 装瓶保存备用。土壤样品信息见表1。

1.2 土壤中芽胞杆菌的分离与保存

称取土样10 g, 加入到装有90 mL 无菌水的锥形瓶(150 mL)内, 振荡30 min后, 80℃ 水浴10 min(中间振荡2–3次), 即制成 10^{-1} 土壤悬液, 再用10倍系列稀释法依次稀释至 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} ; 吸取各稀释度的土壤悬液100 μ L, 滴加到LB培养基平板上, 用无菌涂布棒涂布均匀, 每个稀释度重复2次。将涂布后的培养基平板倒置放在30℃ 恒温箱中培养, 2 d后根据各平板上菌落的形态、色泽、大小、边缘状态、透明度等特征区分不同的菌落类型, 分别编号和统计数量, 挑取不同类型的单菌落在新的培养基平板上划线培养, 直至获得纯培养, 保存备用。

1.3 分子鉴定与系统发育分析

参照葛慈斌等(2015)的方法, 对获得纯培养的不同菌落类型芽胞杆菌进行DNA提取和16S rRNA基因序列PCR扩增, 扩增产物由上海博尚生物技术有限公司进行测序。将测得的序列在EzTaxon (<http://eztaxon-e.ezbiocloud.net/>)(Kim et al, 2012)进行比对, 初步确定各菌株的分类地位; 并结合各菌株的菌落形态(其中通过观察有无伴胞晶体的产生来区分*B. thuringiensis*与*B. cereus*)及方法1.2中对不同类型菌落的计数结果, 统计每个土样中分离出的同一种芽胞杆菌的数量及6个地点所有土样中分离出芽胞杆菌的种类和数量。

根据对分离得到的芽胞杆菌16S rRNA基因序列测定的结果, 选取不同芽胞杆菌的16S rRNA基因序列, 并选择相关参考菌株(模式菌株)的相应基因序列, 经ClustalX对齐后, 用软件Mega 6.0 (Tamura et al, 2013)进行聚类分析, 构建Neighbor-

joining系统发育树。

1.4 生境分布多样性

分离频度是指某种芽胞杆菌在某个地点土样中被分离到的频率, 即分离频度 = (某个种出现的样品数/总样品数) $\times 100\%$ 。分离频度大于50%为优势种, 介于30–50%之间的为最常见种, 介于10–30%之间的为常见种, 小于10%的为稀有种(张英等, 2003)。根据对芽胞杆菌进行鉴定的结果, 统计所有种类芽胞杆菌在不同地点土样中的分离频度和数量, 分析其生境分布的多样性。

1.5 群落结构多样性

采用常用的多样性指数。计算公式如下(胡理乐等, 2007):

- (1) Margalef丰富度指数: $Ma = (S-1)/\ln N$
- (2) Shannon-Wiener多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$
- (3) Pielou均匀度指数: $J' = -\sum P_i \ln P_i / \ln S$
- (4) Simpson优势度指数: $D_j = 1/\sum P_i^2$

其中, S 表示某个地点土壤中芽胞杆菌的种类数, N 表示某个地点土壤中芽胞杆菌的总量, P_i 表示第*i*种芽胞杆菌的数量占该地点土壤中芽胞杆菌总数的比例(即 $P_i = N_i/N$, N_i 为第*i*种芽胞杆菌的数量)。

1.6 种群数量、分离频度、海拔间的相关性分析

对在黄岗山顶部、桐木关、挂墩和大竹岚等6个地点都有分离到的芽胞杆菌, 用DPS统计软件(唐启义, 2010)进行该芽胞杆菌种的分离频度、数量与海拔之间的相关性分析。

1.7 种类分布的聚类分析

为区分不同种类的芽胞杆菌在武夷山自然保护区土壤中的分布状况, 以各种芽胞杆菌的分离频度为指标、以芽胞杆菌种类为样本, 构建矩阵, 并

表1 采自武夷山自然保护区的土壤样品信息

Table 1 Information of the soil samples collected from Wuyishan Nature Reserve

采集地点 Location	海拔 Altitude (m)	土壤样品数 No. of samples	生境类型 Habitat	土壤类型 Agrotype
黄岗山顶部 Peak of the Huanggang Mountain (PHM)	2,158	15	草甸、岩石 Meadow, rock	山地草甸土 Mountain meadow soil
黄岗山中部 Middle of the Huanggang Mountain (MHM)	1,700	13	树林、草丛、路边等 Forest, grass, roadside	黄壤 Yellow soil
黄岗山底部 Base of the Huanggang Mountain (BHM)	1,100	7	树林、草丛、路边等 Forest, grass, roadside	红黄壤、黄壤 Red and yellow soil, yellow soil
桐木关 Tongmuguan (TMG)	890	12	树林、草丛、路边等 Forest, grass, roadside	红黄壤 Red and yellow soil
挂墩 Guadun (GD)	1,200	14	树林、草丛、路边等 Forest, grass, roadside	红黄壤、黄壤 Red and yellow soil, yellow soil
大竹岚 Dazhulan (DZL)	1,000	14	树林、草丛 Forest, grass	红黄壤、黄壤 Red and yellow soil, yellow soil

采用欧氏距离法, 选择距离值的节点(λ), 对各种芽胞杆菌在武夷山自然保护区土壤中的分布状况进行系统聚类。

2 结果

2.1 芽胞杆菌种类采集与鉴定

从武夷山自然保护区的黄岗山、挂墩、大竹岚等地采集的75份土样中分离、保存芽胞杆菌418株, 经16S rRNA基因序列测定、比对, 可初步将这418个菌株鉴定为8个属42个种(表2)。其中, 有3个菌株与其参比菌株的16S rRNA基因序列相似性低于98.0%, 而目前认为划分细菌新种的16S rRNA基因序列相似性阈值是98.65% (Kim et al, 2014), 因此, 这3个菌株很有可能为芽胞杆菌新种。

在这42个种中, 芽胞杆菌属的种最多, 有20种, 占种总数的47.62%; 类芽胞杆菌属(*Paenibacillus*)其次, 有8种; 赖氨酸芽胞杆菌属(*Lysinibacillus*)有7种; 嗜冷芽胞杆菌属(*Psychrobacillus*)和绿芽胞杆菌属(*Viridibacillus*)都只有2种, 短芽胞杆菌属(*Brevibacillus*)、虚构芽胞杆菌属(*Fictibacillus*)和鲁氏芽胞杆菌属(*Rummeliibacillus*)最少, 均只有1种。

2.2 分离的芽胞杆菌多样性

分子鉴定结果表明武夷山自然保护区的芽胞杆菌主要聚为5大类(图1)。第1类包括鉴定为*Lysinibacillus*的7个种、*Viridibacillus*的2个种、*Psychrobacillus*的2个种和鉴定为*Bacillus isronensis*、*B. cecembensis*、*Rummeliibacillus pycnus*的菌株; 第2类包括鉴定为*Bacillus bataviensis*、*B. novalis*、*B. endoradicis*、*B. simplex*和*B. muralis*的菌株, 均为简单芽胞杆菌类群; 第3类包括鉴定为蜡样芽胞杆菌类群的*Bacillus mycoides*、*B. weihenstephanensis*、*B. thuringiensis*、*B. cereus*、*B. pseudomycoides*等5个种的菌株和鉴定为*Bacillus manliponensis*、*B. marisflavi*、*B. licheniformis*、*B. tequilensis*、*B. methylotrophicus*以及鉴定为*Fictibacillus nanhaiensis*、*Bacillus halmopalus*、*B. aryabhattai*、*B. safensis*的菌株; 第4类只有鉴定为*Brevibacillus agri*的菌株; 第5类包括鉴定为*Paenibacillus*的8个种的菌株。

2.3 芽胞杆菌类群的生境分布

对武夷山自然保护区6个地点土壤中分离出的芽胞杆菌的分离频度、数量进行分析, 结果显示(表3), *B. thuringiensis*、*Lysinibacillus xylanilyticus*为整

个武夷山自然保护区土壤中芽胞杆菌的优势种。但不同地点的优势种存在差别: *B. cereus*、*B. mycoides*和*L. xylanilyticus*为黄岗山顶部分土壤中芽胞杆菌的优势种, *B. cereus*和*B. mycoides*为黄岗山中部的优势种, *B. thuringiensis*和*L. xylanilyticus*同为黄岗山底部和桐木关的优势种, *B. thuringiensis*、*L. xylanilyticus*、*R. pycnus*为挂墩芽胞杆菌的优势种, *B. thuringiensis*为大竹岚芽胞杆菌的优势种。

Bacillus cereus、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*、*L. xylanilyticus*等4个种在武夷山自然保护区6个地点的土壤样品中均有分离到, 是该保护区土壤中广泛存在的芽胞杆菌。但也有相当部分的种类只在1个地点分离到, 为该地点的特有种类, 如*Bacillus cecembensis*、*B. isronensis*、*B. licheniformis*、*B. methylotrophicus*、*B. novalis*、*B. simplex*、*Brevibacillus agri*等7个种只在黄岗山顶部分有分离到, *B. weihenstephanensis*只在黄岗山中部有分离到, *Lysinibacillus massiliensis*只在黄岗山底部有分离到, *Paenibacillus lautus*和*Psychrobacillus insolitus*只在桐木关有分离到, *Bacillus halmopalus*、*B. manliponensis*、*Paenibacillus apiarius*、*P. elgii*、*R. pycnus*等5个种只在挂墩有分离到, *Bacillus bataviensis*、*B. marisflavi*、*F. nanhaiensis*、*Bacillus tequilensis*、*Paenibacillus castaneae*、*P. pini*、*P. terrigena*等7个种只在大竹岚的土壤样品中有分离到。

表3还列出了武夷山自然保护区6个地点土壤中每种芽胞杆菌的数量和总数量。不同地点土壤的芽胞杆菌数量存在差异: 黄岗山顶部分、中部土壤中总的芽胞杆菌数量最少, 分别只有 4.866×10^5 cfu/g土壤、 3.485×10^5 cfu/g土壤, 挂墩土壤中的数量最多, 达到 39.761×10^5 cfu/g; *Bacillus mycoides*、*B. tequilensis*、*B. thuringiensis*、*Lysinibacillus xylanilyticus*、*Paenibacillus alvei*等5个种是武夷山土壤中数量较多的芽胞杆菌。在不同的地点, 土壤中数量较多的芽胞杆菌种类也不一样, 如*Bacillus mycoides*是黄岗山顶部分土壤中数量最多的芽胞杆菌, *B. thuringiensis*是黄岗山底部土壤中数量较多的芽胞杆菌, *B. aryabhattai*、*B. thuringiensis*、*Lysinibacillus xylanilyticus*、*Viridibacillus arenosi*是桐木关土壤中数量较多的芽胞杆菌, *B. mycoides*、*B. tequilensis*、*B. thuringiensis*、*L. xylanilyticus*是大竹岚土壤中数量较多的4种芽胞杆菌。

表2 从武夷山自然保护区分离得到的芽胞杆菌的种类概况
Table 2 *Bacillus*-like species isolated from Wuyishan Nature Reserve

类群 Group	代表菌株 Strains	登录号 GenBank accession no.	最相近菌种 Closest match	相似性 Sequence identity (%)
芽胞杆菌属 <i>Bacillus</i>	FJAT-16209	KF278157	阿氏芽胞杆菌 <i>Bacillus aryabhatai</i>	100.0
	FJAT-16883	KF278197	巴达维亚芽胞杆菌 <i>B. bataviensis</i>	100.0
	FJAT-16354	KF278179	科研中心芽胞杆菌 <i>B. cecembensis</i>	95.95
	FJAT-16889	KF278199	蜡样芽胞杆菌 <i>B. cereus</i>	100.0
	FJAT-16469	KF278181	根内芽胞杆菌 <i>B. endoradicis</i>	99.12
	FJAT-16705	KF278193	盐敏芽胞杆菌 <i>B. halmopalus</i>	98.52
	FJAT-16532	KF278187	印空研芽胞杆菌 <i>B. isronensis</i>	100.0
	FJAT-16048	KF278123	万里浦芽胞杆菌 <i>B. manliponensis</i>	98.46
	FJAT-16291	KF278168	地衣芽胞杆菌 <i>B. licheniformis</i>	99.85
	FJAT-16872	KF278195	黄海芽胞杆菌 <i>B. marisflavi</i>	100.0
	FJAT-16134	KF278130	甲基营养型芽胞杆菌 <i>B. methylotrophicus</i>	99.86
	FJAT-16162	KF278147	壁芽胞杆菌 <i>B. muralis</i>	99.85
	FJAT-16884	KF278198	蕈状芽胞杆菌 <i>B. mycoides</i>	100.0
	FJAT-16339	KF278175	休闲地芽胞杆菌 <i>B. novalis</i>	99.83
	FJAT-16201	KF278155	假蕈状芽胞杆菌 <i>B. pseudomycoides</i>	99.85
	FJAT-16578	KF278189	沙福芽胞杆菌 <i>B. safensis</i>	100.0
	FJAT-17017	KF278204	简单芽胞杆菌 <i>B. simplex</i>	100.0
	FJAT-17042	KF278206	特基拉芽胞杆菌 <i>B. tequilensis</i>	99.89
	FJAT-16178	KF278153	苏云金芽胞杆菌 <i>B. thuringiensis</i>	100.0
	FJAT-16301	KF278171	韦氏芽胞杆菌 <i>B. weihenstephanensis</i>	100.0
短芽胞杆菌属 <i>Brevibacillus</i>	FJAT-16350	KF278177	土壤短芽胞杆菌 <i>Brevibacillus agri</i>	99.38
虚构芽胞杆菌属 <i>Fictibacillus</i>	FJAT-17014	KF278203	南海虚构芽胞杆菌 <i>Fictibacillus nanhaiensis</i>	100.0
赖氨酸芽胞杆菌属 <i>Lysinibacillus</i>	FJAT-16156	KF278145	纺锤形赖氨酸芽胞杆菌 <i>Lysinibacillus fusiformis</i>	100.0
	FJAT-16167	KF278149	延长赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. macroides</i>	99.57
	FJAT-16506	KF278185	芒果土赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. mangiferahumi</i>	99.98
	FJAT-16266	KF278163	马赛赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. massiliensis</i>	97.51
	FJAT-16248	KF278158	低硼赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. parviboronicapiens</i>	99.22
	FJAT-16141	KF278135	球形赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. sphaericus</i>	99.14
	FJAT-16140	KF278134	解木糖赖氨酸芽胞杆菌 <i>L. xylanilyticus</i>	100.0
	FJAT-16151	KF278140	蜂房类芽胞杆菌 <i>Paenibacillus alvei</i>	98.82
类芽胞杆菌属 <i>Paenibacillus</i>	FJAT-16703	KF278192	蜜蜂类芽胞杆菌 <i>P. apiarius</i>	98.88
	FJAT-16893	KF278200	栗树类芽胞杆菌 <i>P. castaneae</i>	98.05
	FJAT-16129	KF278128	埃及类芽胞杆菌 <i>P. elgii</i>	99.40
	FJAT-16135	KF278131	灿烂类芽胞杆菌 <i>P. lautus</i>	99.13
	FJAT-16879	KF278196	松树类芽胞杆菌 <i>P. pini</i>	99.98
	FJAT-16903	KF278201	台中类芽胞杆菌 <i>P. taichungensis</i>	100.0
	FJAT-16927	KF278202	土地类芽胞杆菌 <i>P. terrigena</i>	97.61
	FJAT-16132	KF278129	奇特嗜冷芽胞杆菌 <i>Psychrobacillus insolitus</i>	98.70
嗜冷芽胞杆菌属 <i>Psychrobacillus</i>	FJAT-16497	KF278183	忍冷嗜冷芽胞杆菌 <i>P. psychrodurans</i>	99.82
鲁氏芽胞杆菌属 <i>Rummeliibacillus</i>	FJAT-16098	KF278125	厚细胞鲁氏芽胞杆菌 <i>Rummeliibacillus pycnus</i>	98.39
绿芽胞杆菌属 <i>Viridibacillus</i>	FJAT-17036	KF278205	沙地绿芽胞杆菌 <i>Viridibacillus arenosi</i>	100.0
	FJAT-16340	KF278176	田地绿芽胞杆菌 <i>V. arvi</i>	100.0

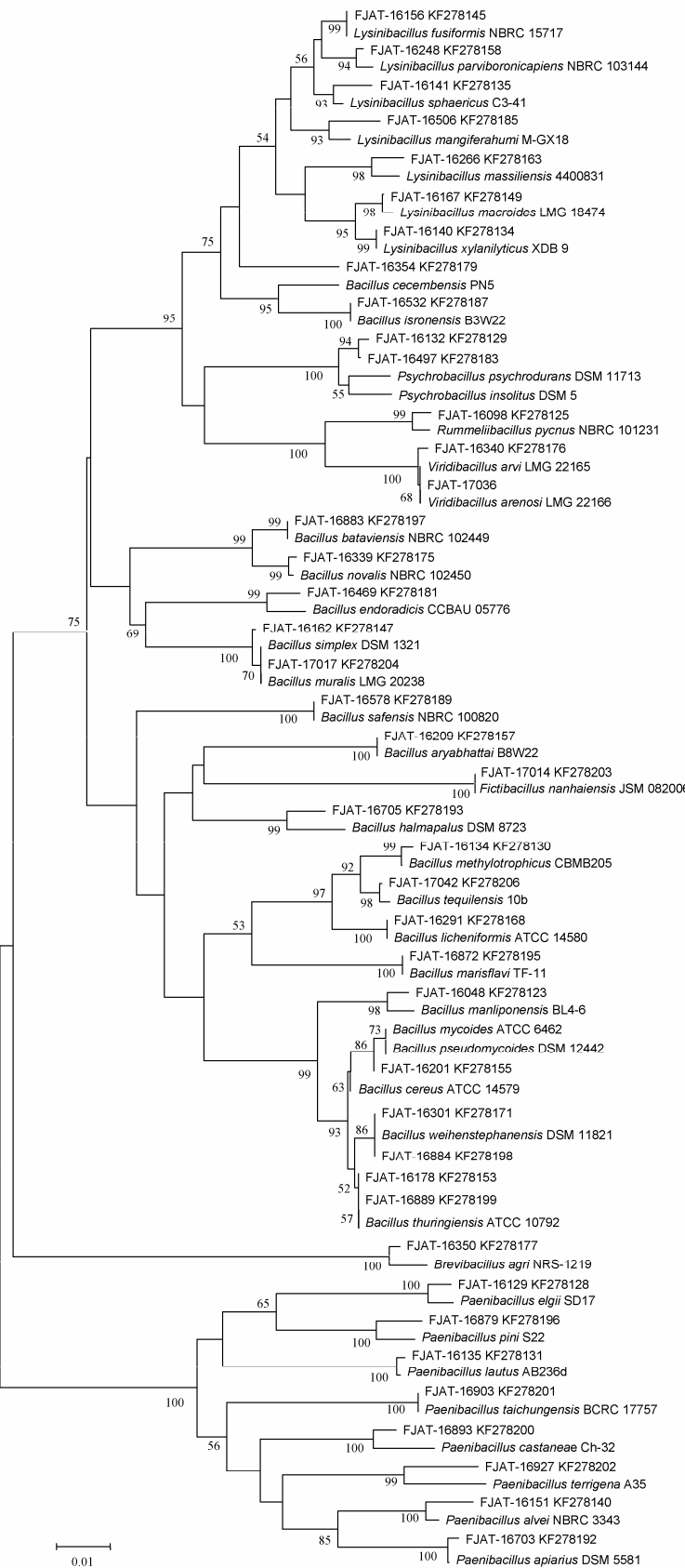


图1 基于16S rRNA基因序列的武夷山自然保护区芽胞杆菌系统发育树。数字表示各节点的自展支持率数值(>50%)。
Fig. 1 Phylogenetic tree of *Bacillus*-like strains isolated from Wuyishan Nature Reserve based on 16S rRNA gene sequences using neighbor-joining method. Bootstrap values above 50% are shown at the branching points.

表3 武夷山自然保护区各地区芽胞杆菌的分离频度(%)和平均数量($\times 10^5$ cfu/g)
Table 3 The frequency (%) and average quantification ($\times 10^5$ cfu/g) of *Bacillus*-like species isolated from different sites in Wuyi-shan Nature Reserve

芽胞杆菌种类 <i>Bacillus</i> -like species	黄岗山顶部 Peak of the Huanggang Mountain		黄岗山中部 Middle of the Huanggang Mountain		黄岗山底部 Base of the Huanggang Mountain		桐木关 Tongmuguan		挂墩 Guadun		大竹岚 Dazhulan		总体 Total	
	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication	频度 Fre- quency	数量 Quanti- fication
<i>Bacillus aryabhatai</i>	0	0	7.69	0.02	14.29	0.10	8.33	2.42	14.29	0.05	14.29	0.62	9.33	3.20
<i>B. bataviensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.43	1.33	0.43
<i>B. cecembensis</i>	6.67	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0.01
<i>B. cereus</i>	66.67	0.26	53.85	1.27	28.57	0.72	16.67	0.29	42.86	0.64	21.43	0.40	40	3.58
<i>B. endoradicis</i>	13.33	0.02	7.69	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	4.00	0.03
<i>B. halmपालus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.01	0	0	1.33	0.01
<i>B. isronensis</i>	6.67	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0.01
<i>B. manliponensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	14.29	0.07	0	0	2.67	0.07
<i>B. licheniformis</i>	6.67	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0.03
<i>B. marisflavi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.11	1.33	0.11
<i>B. methylotrophicus</i>	6.67	0.01	0	0	0	0	8.33	0.01	0	0	0	0	2.67	0.02
<i>B. muralis</i>	0	0	0	0	0	0	25.00	0.67	0	0	14.29	0.77	6.67	1.43
<i>B. mycoides</i>	100.0	3.26	69.20	1.42	28.57	0.95	16.67	0.47	7.14	0.04	14.29	1.24	41.33	7.37
<i>B. novalis</i>	6.67	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0.07
<i>B. pseudomycoides</i>	0	0	0	0	28.57	0.21	8.33	0.42	42.86	2.44	14.29	0.09	14.67	3.16
<i>B. safensis</i>	0	0	7.69	0.01	0	0	0	0	14.29	0.36	0	0	4.00	0.36
<i>B. simplex</i>	26.67	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.05	6.67	0.23
<i>B. tequilensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	16.19	1.33	16.19
<i>B. thuringiensis</i>	20	0.18	30.77	0.63	100.0	6.73	83.33	11.00	71.43	3.24	85.71	13.47	61.33	35.25
<i>B. weihenstephanensis</i>	0	0	7.69	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0.02
<i>Brevibacillus agri</i>	6.67	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0.19
<i>Fictibacillus nanhaiensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.10	1.33	0.10
<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	0	0	0	0	28.57	0.31	8.33	0.58	0	0	0	0	4.00	0.89
<i>L. macroides</i>	6.67	0.02	0	0	0	0	8.33	0.08	0	0	0	0	2.67	0.10
<i>L. mangiferahumi</i>	13.33	0.15	0	0	0	0	0	0	7.14	0.04	0	0	4.00	0.19
<i>L. massiliensis</i>	0	0	0	0	14.29	0.14	0	0	0	0	0	0	1.33	0.14
<i>L. parviboronicapiens</i>	0	0	0	0	28.57	1.29	16.67	0.65	0	0	0	0	5.33	1.93
<i>L. sphaericus</i>	0	0	0	0	0	0	8.33	0.13	7.14	0.04	21.43	0.87	6.67	1.03
<i>L. xylanilyticus</i>	60	0.27	30.77	0.11	57.14	0.74	58.33	3.68	78.57	3.22	21.43	1.08	50.67	9.10
<i>Paenibacillus alvei</i>	0	0	0	0	14.29	0.03	0	0	7.14	28.57	0	0	2.67	28.60
<i>P. apiarius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.31	0	0	1.33	0.31
<i>P. castaneae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.04	1.33	0.04
<i>P. elgii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.01	0	0	1.33	0.01
<i>P. lautus</i>	0	0	0	0	0	0	8.33	0.05	0	0	0	0	1.33	0.05
<i>P. pini</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.57	1.33	0.57
<i>P. taichungensis</i>	0	0	0	0	0	0	8.33	0.07	0	0	7.14	0.48	2.67	0.54
<i>P. terrigena</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14	0.01	1.33	0.01
<i>Psychrobacillus insolitus</i>	0	0	0	0	0	0	8.33	0.31	0	0	0	0	1.33	0.31
<i>Psychrobacillus psychro-</i> <i>durans</i>	13.33	0.11	7.69	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	4.00	0.12
<i>Rummeliibacillus pycnus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	64.29	0.64	0	0	12.00	0.64
<i>Viridibacillus arenosi</i>	26.67	0.11	0	0	0	0	8.33	1.33	14.29	0.11	14.29	0.31	12.00	1.86
<i>V. arvi</i>	20	0.01	7.69	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	5.33	0.02
总计 Total	—	4.866	—	3.485	—	11.222	—	22.137	—	39.761	—	36.795	—	—

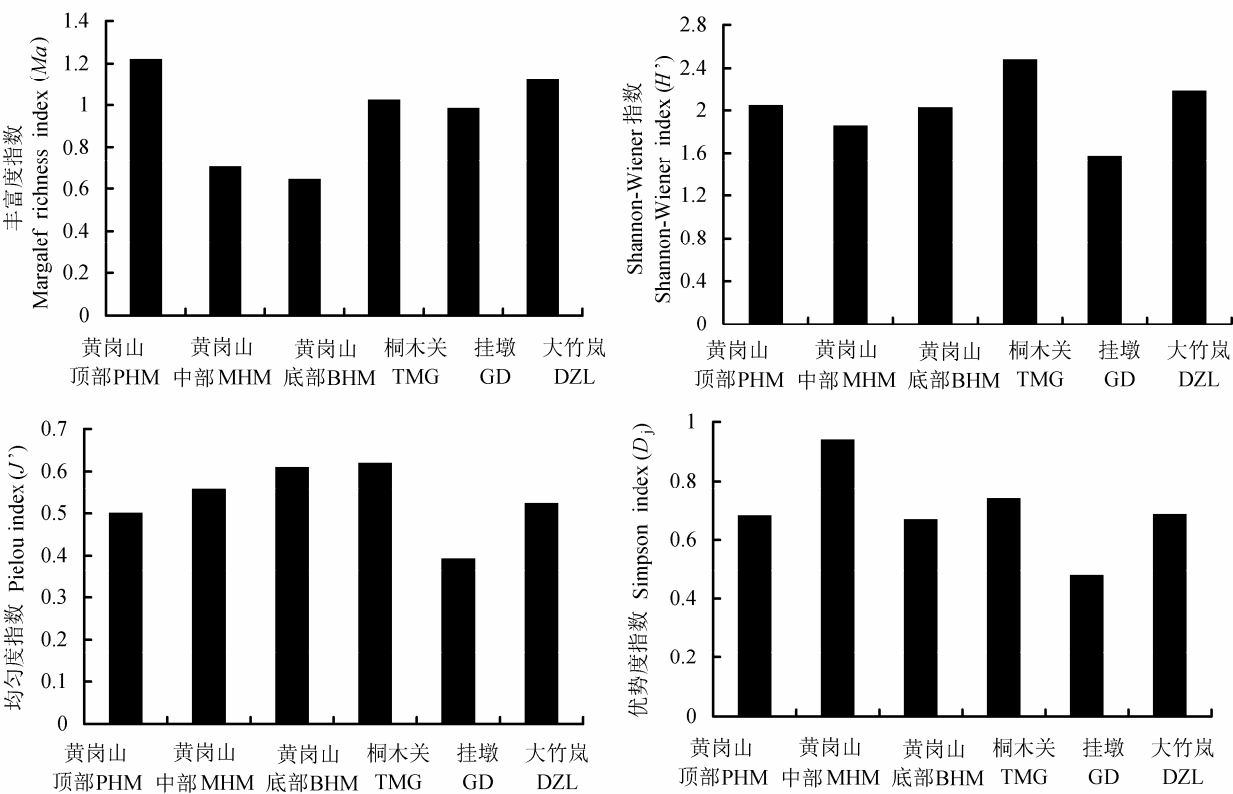


图2 武夷山保护区不同采样地点土壤芽胞杆菌的多样性指数。PHM、MHM、BHM、TMG、GD、DZL的含义见表1。
Fig. 2 Diversity indices of *Bacillus*-like species isolated from different sampling sites in Wuyishan Nature Reserve. See Table 1 for PHM, MHM, BHM, TMG, GD, DZL.

表4 武夷山自然保护区芽胞杆菌数量、分离频度、海拔间的相关性
Table 4 The correlations among frequency, quantification of four *Bacillus*-like species distribution and altitude in Wuyishan Nature Reserve

芽胞杆菌种类 <i>Bacillus</i> -like species	数量与海拔的相关性 Correlation between quantification and altitude	分离频度与海拔的相关性 Correlation between frequency and altitude	数量与分离频度的相关性 Correlation between quantification and frequency
<i>Bacillus cereus</i>	0.136	0.960**	0.220
<i>Bacillus mycoides</i>	0.852*	0.952**	0.906*
<i>Bacillus thuringiensis</i>	-0.834*	-0.931**	0.792
<i>Lysinibacillus xylanilyticus</i>	-0.635	0.034	-0.273

* $P<0.05$; ** $P<0.01$

2.4 芽胞杆菌的多样性

武夷山自然保护区6个地点土壤中芽胞杆菌的物种多样性计算结果(图2)显示: 黄岗山顶部土壤中芽胞杆菌的物种丰富度指数最高, 为1.222, 大竹岚其次, 为1.125, 黄岗山底部土壤的物种丰富度最低, 仅为0.646。桐木关土壤中芽胞杆菌的物种多样性指数最高, 达2.482, 大竹岚其次, 为2.184, 挂墩最低, 为1.574, 黄岗山顶部、中部和底部土壤中芽胞杆菌的多样性指数间差异不大。桐木关土壤中芽胞杆菌的均匀度指数最高, 为0.620, 黄岗山中部的优势度指数则最高, 为0.941, 挂墩土壤中芽胞杆菌

的均匀度指数和优势度指数均最低, 分别为0.393和0.479。

2.5 种群数量、分离频度、海拔间的相关性

对从武夷山自然保护区6个地点土壤中都有分离到的4种芽胞杆菌, 即*Bacillus cereus*、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*、*Lysinibacillus xylanilyticus*, 进行分离频度、数量及海拔之间的相关性分析。结果(表4)表明, *L. xylanilyticus*的数量、分离频度与海拔之间的相关性不显著; *B. cereus*的数量与海拔之间的相关性不显著, 但分离频度与海拔间的相关性极显著; *B. mycoides*、*B. thuringiensis*的数量则与海

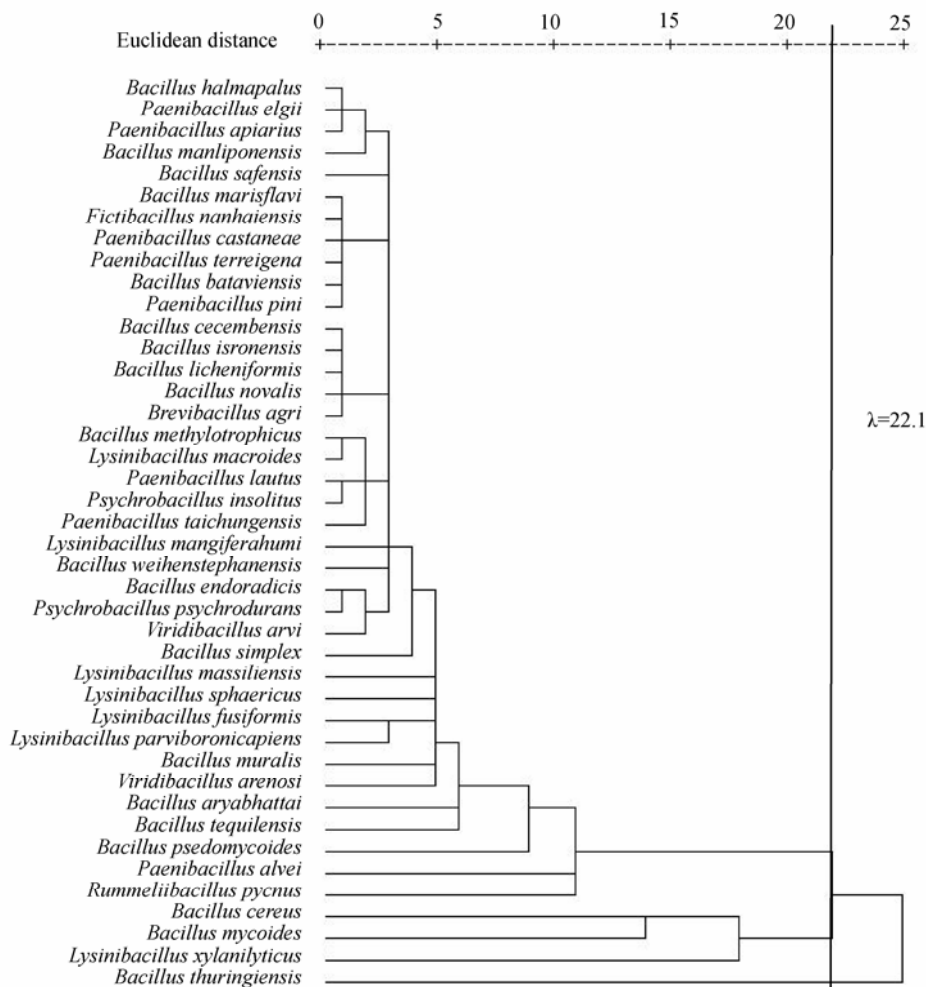


图3 芽胞杆菌种类分布的聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of the distribution of *Bacillus*-like species

拔显著相关, 相关性系数分别为0.852和-0.834, 分离频度与海拔极显著相关, 相关系数分别为0.952和-0.931。 *B. cereus*、*B. thuringiensis*、*L. xylanilyticus* 的数量与分离频度之间的相关性不显著, 而 *B. mycoloides* 的相关性显著。另外, 芽胞杆菌的总量与海拔之间的相关性不显著 ($P>0.05$)。

2.6 芽胞杆菌种类分布聚类分析

为区分不同种类的芽胞杆菌在武夷山自然保护区土壤中的分布状况, 用欧氏距离法对各种芽胞杆菌在武夷山自然保护区土壤中的分布状况进行系统聚类, 结果见图3。当 $\lambda = 22.1$ 时, 可将这些芽胞杆菌种群分为3类: 第一类只有 *B. thuringiensis*, 其特征是分离频度和数量最大, 分别为61.33%和 35.246×10^5 cfu/g; 第二类有 *Bacillus mycoloides*、*Lysinibacillus xylanilyticus* 和 *Bacillus cereus* 3种芽胞

杆菌, 其特征是分离频度在40.00%以上且数量较大; 第三类包括 *Bacillus halmopalus*、*Paenibacillus elgii*、*P. apiarius* 等其余的38种芽胞杆菌, 其特征是分离频度小, 均小于或等于14.67%。

3 讨论

本研究较系统地分析了武夷山自然保护区土壤中芽胞杆菌的群落状况, 结果表明武夷山自然保护区土壤中芽胞杆菌的种类丰富、数量较大, 其中 *Bacillus* 有20种, 占总种数的47.62%, 是该保护区土壤中芽胞杆菌的优势属。周秋平等(2015)从海南尖峰岭热带雨林土壤中分离出164株芽胞杆菌, 主要分布于 *Bacillus*、*Paenibacillus*、*Lysinibacillus*、*Brevibacillus* 和 *Psychrobacillus*, 其中优势属为 *Bacillus*, 占52%; 宋兆齐等(2013)从河南省农田土

壤中分离获得331株产芽胞菌株,分属于19个种,其中16种属于*Bacillus*;唐志燕等(2009)的研究也发现,*Bacillus*是成都市郊区土壤中细菌的主要类群,约占细菌总量的25.3%;张福特等(2014)从海南佳西热带雨林土壤中分离到147株芽胞杆菌,分属13个遗传类群,其中*Bacillus*为优势属(占50%)。这些都与本研究结果相似,表明*Bacillus*是各地土壤中可培养芽胞杆菌的优势属。

Bacillus cereus、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*和*Lysinibacillus xylanilyticus*等4个种是武夷山自然保护区土壤中广泛存在的芽胞杆菌,且后两者也是该保护区土壤中芽胞杆菌的优势种。*B. thuringiensis* (Bt)是土壤中常见的一种芽胞杆菌,能产生具有特异杀虫活性的伴胞晶体,对多种昆虫、线虫和动物原虫有杀灭活性(Schnepf et al, 1998),是世界上应用最为广泛、效果最好的微生物杀虫剂(喻子牛等, 2013)。*L. xylanilyticus*最初被分离自韩国鸡龙山(Gyeryong Mountain)的森林腐殖质中,是一种具有较强的木聚糖降解功能的芽胞杆菌(Lee et al, 2010),而木聚糖在自然界广泛存在,是构成植物细胞壁半纤维素的主要成分(Timmell, 1967);*L. xylanilyticus*也被分离自水果、蔬菜废弃物堆肥中(Hayat et al, 2013),Wang等(2013)还在中国南方的花生植株根表及根内发现有*L. xylanilyticus*的存在。武夷山自然保护区植被保存完好、土壤腐殖质层厚、昆虫种类多,可能是其土壤中*B. thuringiensis*、*L. xylanilyticus*广泛存在且数量大的主要原因。武夷山Bt资源的大量收集,丰富了我国的Bt菌株资源,也可分离克隆具有知识产权的Bt杀虫基因奠定基础。

物种多样性指数和物种丰富度有关,也和物种的个体数有关。武夷山自然保护区6个地点土壤中芽胞杆菌的物种丰富度较高,但由于土壤中芽胞杆菌数量存在较大差别,使得不同地点的物种多样性指数、均匀度、优势度也存在差异。桐木关土壤中芽胞杆菌的物种多样性指数、均匀度指数都比其他5个地点的高,其原因可能是该地的芽胞杆菌丰富度较高(16种)、数量较大且每种芽胞杆菌的数量较为接近;挂墩土壤中芽胞杆菌种类数也是16种,且数量大,但由于每种芽胞杆菌的数量差别大,特别是*Paenibacillus alvei*的数量(2.857×10^6 cfu/g)就占了该地点土壤芽胞杆菌总量的71.86%,因此其多样性、均匀度和优势度指数都最低。

土壤中微生物的分布格局是否与海拔相关?从现有的报道来看,研究结果不尽相同。西藏色季拉山土壤中细菌与古菌的多样性随着海拔的上升而降低(Wang et al, 2015),韩国Halla山高海拔处的细菌多样性比中海拔处更丰富(Singh et al, 2014),神农架1,000–2,800 m处4种植被类型下酸杆菌群落结构的多样性变化表现为低海拔和高海拔高于中海拔(Zhang et al, 2014),而秘鲁东部安第斯山土壤中细菌的多样性与海拔无关(Fierer et al, 2011),南美洲Puna草原牧草根际细菌(其中芽胞杆菌占细菌种类的44%)数量与海拔及牧草品种之间也不存在相关性(Lugo et al, 2008)。由此可见,土壤微生物在海拔高度上的分布格局因研究区域而异。海拔作为主要的地形因子,其梯度变化会引起温度、湿度、光照、气压等环境因子及土壤pH、有机质、养分含量等相应发生变化(李兴民等, 2014; 魏新等, 2014),也会引起植被类型发生变化(Eduardo et al, 2015; 卢慧等, 2015),这些都可能是影响土壤微生物分布的重要因素(张于光等, 2014; José & Rosa, 2016)。本研究表明,武夷山自然保护区土壤中芽胞杆菌总量及多样性与海拔之间的相关性不显著,但*B. cereus*在6个地点土壤中的分离频度与海拔极显著相关,*B. mycoides*、*B. thuringiensis*在土壤中的数量、分离频度与海拔显著相关,其中*B. thuringiensis*为负相关,即随着海拔的升高,该菌株在土壤中的数量、分离频度逐渐减少。

蜡样芽胞杆菌(*Bacillus cereus*)是自然界常见的一种芽胞杆菌,主要分布于土壤、尘埃和水体中,在农业、工业和医药等领域有着广泛的应用。蕈状芽胞杆菌(*Bacillus mycoides*)的一个显著特征是在培养基平板上形成丝状菌落(Trick et al, 1984),该菌能够产生抑制多种细菌的活性物质(孙会刚等, 2012),其代谢产物能增强小鼠的免疫功能(王高学等, 2006),也可作为微生态制剂应用于辐射防护(徐书显等, 1998)。有关*B. cereus*、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*等芽胞杆菌的分布与海拔相关性的研究报道不多,特别是前二者更为少见。张文飞等(2009)的研究表明,海南岛热带雨林区土壤中的Bt菌株数量随着海拔增加逐渐降低,海拔900–1,400 m的Bt菌株含量高;宋健等(2011)发现河北大茂山Bt菌株分布与海拔的关系呈先升高后降低的趋势,在海拔900 m以下,Bt出菌率随海拔上升而增加,在

1,000–1,200 m范围内达到最大,之后与海拔高度呈负相关。本研究结果也表明,武夷山自然保护区海拔890–1,200 m的土壤中Bt菌株含量高。至于造成*B. cereus*、*B. mycoides*、*B. thuringiensis*这3种亲缘关系较近的芽胞杆菌截然不同的分布状况的原因,有待于进一步研究。

参考文献

- Chen S, Hu W, Xiao Y, Deng Y, Jia J, Hu M (2012) Degradation of 3-phenoxybenzoic acid by a *Bacillus* sp. PLoS ONE, 7, e50456.
- Eduardo EC, José RA, José ÁVQ, María MSR, Juan AED, Humberto GR, César MCA (2015) Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. The Science of Nature, 102, 58–68.
- Fang YH (2005) Species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest of *Castanopsis carlesii* and *C. eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve, Fujian, China. Biodiversity Science, 13, 148–155. (in Chinese with English abstract) [方燕鸿 (2005) 武夷山米槠、甜槠常绿阔叶林的物种组成及多样性分析. 生物多样性, 13, 148–155.]
- Fierer N, McCain CM, Meir P, Zimmermann M, Rapp JM, Silman MR, Knight R (2011) Microbes do not follow the elevational diversity patterns of plants and animals. Ecology, 92, 797–804.
- Gartner A, Blumel M, Wiese J, Imhoff JF (2011) Isolation and characterisation of bacteria from the Eastern Mediterranean deep sea. Antonie Van Leeuwenhoek, 100, 421–435.
- Ge CB, Liu B, Che JM, Chen MC, Liu GH, Wei JC (2015) Diversity of *Bacillus* species inhabiting on the surface and endophyte of lichens collected from Wuyi Mountain. Acta Microbiologica Sinica, 55, 551–563. (in Chinese with English abstract) [葛慈斌, 刘波, 车建美, 陈梅春, 刘国红, 魏江春 (2015) 武夷山地衣表生和内生芽胞杆菌种群的多样性. 微生物学报, 55, 551–563.]
- Guo XH, Zhao ZD, Xiong HR (2010) Review on the intestinal microecology of Bacilli-derived probiotics. Chinese Journal of Microecology, 22, 1136–1139. (in Chinese with English abstract) [郭小华, 赵志丹, 熊海容 (2010) 益生芽胞杆菌肠道微生物生态学研究进展. 中国微生态学杂志, 22, 1136–1139.]
- Hayat R, Rizwan AS, Muhammad IH, Ahmed I (2013) Characterization and identification of compost bacteria based on 16S rRNA gene sequencing. Annals of Microbiology, 63, 905–912.
- Hu LL, Yan BQ, Jiang MX, Zhu JJ (2007) The diversity of plant communities with endangered plant, *Berchemiella wilsonii* vat. *pubipetiolata*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 27, 594–600. (in Chinese with English abstract) [胡理乐, 闫伯前, 江明喜, 朱教君 (2007) 毛柄小勾儿茶伴生群落种类组成及多样性研究. 西北植物学报, 27, 594–600.]
- José AS, Rosa M (2016) Abundance and diversity of bacterial, archaeal, and fungal communities along an altitudinal gradient in alpine forest soils: what are the driving factors? Microbial Ecology, 72, 207–220.
- Kim M, Oh HS, Park SC, Chun J (2014) Towards a taxonomic coherence between average nucleotide identity and 16S rRNA gene sequence similarity for species demarcation of prokaryotes. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 64, 346–351.
- Kim OS, Cho YJ, Lee K, Yoon SH, Kim M, Na H, Park SC, Lee JH, Yi H, Won S, Chun J (2012) Introducing EzTaxon-e: a prokaryotic 16S rRNA gene sequence database with phylogenotypes that represent uncultured species. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 62, 716–721.
- Kim YH, Kim IS, Moon EY, Park JS, Kim SJ, Lim JH, Park BT, Lee EJ (2011) High abundance and role of antifungal bacteria in compost-treated soils in a wildfire area. Microbial Ecology, 62, 725–737.
- Köberl M, Müller H, Ramadan EM, Berg G (2011) Desert farming benefits from microbial potential in arid soils and promotes diversity and plant health. PLoS ONE, 6, 244–252.
- Lee CS, Jung YT, Park S, Oh TK, Yoon JH (2010) *Lysibacillus xylanilyticus* sp. nov., a xylan-degrading bacterium isolated from forest humus. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 60, 281–286.
- Li XM, Che KJ, Yang YH, Wang H, Ma WW, Wang H, Huang R (2014) Variation pattern of soil nutrients in forests at different altitudes at upstream of Bailongjiang River. Journal of Gansu Agricultural University, 49(6), 131–137. (in Chinese with English abstract) [李兴民, 车克钧, 杨永红, 王辉, 马维维, 王惠, 黄蓉 (2014) 白龙江上游不同海拔森林土壤养分变化规律研究. 甘肃农业大学学报, 49(6), 131–137.]
- Li ZJ, Chen LZ, Lin QX, Lin JL, Liu DL, Liu CD, He JY, Chen BH, Huang ZH, Lin WQ, Shi DM (2002) Study on the species diversity of higher plants in *Buxus sinica* var. *parvifolia* dwarf community in Wuyishan Mountains. Journal of Xiamen University (Natural Science), 41, 574–578. (in Chinese with English abstract) [李振基, 陈鹭真, 林清贤, 林建丽, 刘德龙, 刘初钿, 何健源, 陈炳华, 黄泽豪, 林文群, 石冬梅 (2002) 武夷山自然保护区生物多样性研究. I. 小叶黄杨矮曲林物种多样性. 厦门大学学报(自然科学版), 41, 574–578.]
- Liu M, Cui Y, Huang HQ, Sun QG, Zhu J, Zou XX, Bao SX (2014) Isolation and diversity of *Bacillus*-like species from Dongzhai Harbor mangrove soil. Journal of Microbiology, 34(5), 21–26. (in Chinese with English abstract) [刘敏, 崔莹, 黄惠琴, 孙前光, 朱军, 邹潇潇, 鲍时翔 (2014) 东寨港红树林土壤芽胞杆菌分离及其多样性分析. 微生物学杂志, 34(5), 21–26.]
- Lu H, Cong J, Liu X, Wang XL, Tang J, Li DQ, Zhang YG (2015) Plant diversity patterns along altitudinal gradients in alpine meadows in the Three River Headwater region, China. Acta Prataculturae Sinica, 24(7), 197–204. (in Chinese with English abstract) [卢慧, 丛静, 刘晓, 王秀磊, 唐

- 军, 李迪强, 张于光 (2015) 三江源区高寒草甸植物多样性的海拔分布格局. 草业学报, 24(7), 197–204.]
- Lugo MA, Ferrero M, Menoyo E, Estévez MC, Siñeriz F, Anton A (2008) Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizospheric bacteria diversity along an altitudinal gradient in South American Puna grassland. Microbial Ecology, 55, 705–713.
- Sanahuja G, Banakar R, Twyman RM, Capell T, Christou P (2011) *Bacillus thuringiensis*: a century of research, development and commercial applications. Plant Biotechnology Journal, 9, 283–300.
- Schnepf E, Crickmore N, van Rie J, Lereclus D, Baum J, Feitelson J, Zeigler DR, Dean DH (1998) *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal protein. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 62, 775–806.
- Singh D, Lee CL, Kim WS, Kerfahi D, Chun JH, Adams JM (2014) Strong elevational trends in soil bacterial community composition on Mt. Halla, South Korea. Soil Biology and Biochemistry, 68, 140–149.
- Song J, Du LX, Wang RY, Wei LM, Cao WP, Song J, Wang JY, Feng SL (2011) Research on the distribution and diversity of *Bacillus thuringiensis* from Damaoshan Mountains. Chinese Agricultural Science Bulletin, 27, 166–169. (in Chinese with English abstract) [宋健, 杜立新, 王容燕, 魏利民, 曹伟平, 宋健, 王金耀, 冯书亮 (2011) 大茂山地区苏云金芽胞杆菌分布与多样性研究. 中国农学通报, 27(1), 166–169.]
- Song ZQ, Wang L, Liu XH, Lv G, Yang Q, Liang F (2013) Genetic diversity of *Bacillus* in agricultural soils in Henan Province. Journal of Henan Agricultural Sciences, 42(9), 73–78. (in Chinese with English abstract) [宋兆齐, 王莉, 刘秀花, 吕刚, 杨清, 梁峰 (2013) 河南省农田土壤芽胞杆菌的遗传多样性分析. 河南农业科学, 42(9), 73–78.]
- Sophie T, Hu XM, Jacques M (2011) Characterization of *Bacilli* isolated from the confined environments of the Antarctic Concordia Station and the International Space Station. Astrobiology, 11, 323–334.
- Sun HG, Huang HL, Zheng J, Jin X (2012) Optimization of fermentation conditions for high production of antimicrobial substance by *Bacillus mycoides* SH-1. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences), 27(2), 45–49. (in Chinese with English abstract) [孙会刚, 黄海亮, 郑进, 金鑫 (2012) 蕈状芽胞杆菌SH-1抗菌活性物质发酵条件优化. 徐州工程学院学报(自然科学版), 27(2), 45–49.]
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipski A, Kumar S (2013) MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. Molecular Biology and Evolution, 30, 2725–2729.
- Tang QY (2010) Data Processing System. Beijing: Science Press. [唐启义 (2010) DPS数据处理系统. 北京: 科学出版社.]
- Tang ZY, Gong GS, Liu P, Shao BL, Zhang SR (2009) A preliminary study of soil *Bacillus* in the suburbs of Chengdu. Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science), 27, 188–192. (in Chinese with English abstract) [唐志燕, 龚国淑, 刘萍, 邵宝林, 张世熔 (2009) 成都市郊区土壤芽胞杆菌的初步研究. 西南农业大学学报(自然科学版), 27, 188–192.]
- Timmell TE (1967) Recent progress in the chemistry of wood hemicelluloses. Wood Sciences Technology, 1, 45–70.
- Trick I, Salcher O, Lingens F (1984) Characterization of filament forming *Bacillus* strains isolated from bulking sludge. Applied Microbiology and Biotechnology, 19, 120–124.
- Vasudevan G, Siddarthan V, Ramachandirane PS (2015) Prevalence of *Bacillus* sp. in soil samples of the southern regions of Western Ghats, India. Annals of Microbiology, 65, 431–441.
- Wang GX, Fu WF, Cui J, Yuan M, Yao L (2006) Effects of active components from *Bacillus mycoides* metabolite on immune functions of mice. Chinese Veterinary Science, 36, 983–987. (in Chinese with English abstract) [王高学, 付维法, 崔婧, 袁明, 姚璐 (2006) 蕈状芽胞杆菌代谢产物活性成分对小鼠免疫功能的影响. 中国兽医科学, 36, 983–987.]
- Wang JS (2007) The species diversity of subfamily Nymphulinae (Lepidoptera: Nymphulinae) communities in the Wuyishan Nature Reserve in Fujian, China. Entomological Journal of East China, 16(1), 59–63. (in Chinese with English abstract) [汪家社 (2007) 武夷山自然保护区水蛾亚科昆虫物种多样性研究. 华东昆虫学报, 16(1), 59–63.]
- Wang JS (2006) The species diversity of subfamily Pyralinae (Lepidoptera: Pyralinae) communities in Wuyishan Nature Reserve. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences), 30(3), 98–100. (in Chinese with English abstract) [汪家社 (2006) 武夷山自然保护区螟蛾亚科昆虫的物种多样性. 南京林业大学学报(自然科学版), 30(3), 98–100.]
- Wang JT, Cao P, Hu HW, Li J, Han LL, Zhang LM, Zheng YM, He JZ (2015) Altitudinal distribution patterns of soil bacterial and archaeal communities along Mt. Shigela on the Tibetan Plateau. Microbial Ecology, 69, 135–145.
- Wang K, Yan PS, Ding QL, Wu QX, Wang ZB, Peng J (2013) Diversity of culturable root-associated/endophytic bacteria and their chitinolytic and aflatoxin inhibition activity of peanut plant in China. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 29, 1–10.
- Wang LG, Xu C (2010) Preliminary discussion on the plant of Magnoliaceae in Wuyishan Nature Reserve. Journal of Fujian Forestry Science and Technology (福建林业科技), 37(2), 90–93. (in Chinese with English abstract) [王良桂, 徐晨 (2010) 福建武夷山国家级自然保护区木兰科植物资源初探. 福建林业科技, 37(2), 90–93.]
- Wang SJ, Ruan HH, Wang JS, Xu ZK, Wu YY (2010) Dynamic change of soil fauna community structure in the course of litter decomposition on the Wuyi Mountains. Journal of Southwest Forestry University, 30(6), 43–47. (in Chinese with English abstract) [王邵军, 阮宏华, 汪家社, 徐自坤, 吴焰玉 (2010) 武夷山土壤动物群落结构在凋落物分解过程中的变化. 西南林学院学报, 30(6), 43–47.]
- Wang ZX, Liu B, Lin YZ, Liu GH (2012) Collection, identifica-

- tion and phylogenetic diversity of *Bacillus* species in soil samples from Xinjiang. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 27, 187–195. (in Chinese with English abstract) [王子旋, 刘波, 林营志, 刘国红 (2012) 新疆土壤芽胞杆菌采集鉴定及其分布多样性. *福建农业学报*, 27, 187–195.]
- Wei X, Zheng XF, Zhang SX (2014) Forest soil physico-chemical properties along different altitudinal gradients at Huoditang in the Qinling Mountains. *Journal of Northwest Forestry University*, 29(3), 9–14. (in Chinese with English abstract) [魏新, 郑小锋, 张硕新 (2014) 秦岭火地塘不同海拔梯度森林土壤理化性质研究. *西北林学院学报*, 29(3), 9–14.]
- Wu ZY, Lin WX, Chen ZF, Fang CX, Zhang ZX, Wu LK, Zhou MM, Shen LH (2013) Characteristics of soil microbial community under different vegetation types in Wuyishan National Nature Reserve, East China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24, 2301–2309. (in Chinese with English abstract) [吴则焰, 林文雄, 陈志芳, 方长旬, 张志兴, 吴林坤, 周明明, 沈荔花 (2013) 武夷山自然保护区不同植被类型土壤微生物群落特征. *应用生态学报*, 24, 2301–2309.]
- Wu ZY, Lin WX, Chen ZF, Liu JF, Fang CX, Zhang ZX, Wu LK, Chen T (2014) Phospholipid fatty acid analysis of soil microbes at different elevation of Wuyi Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, 50(7), 105–112. (in Chinese with English abstract) [吴则焰, 林文雄, 陈志芳, 刘金福, 方长旬, 张志兴, 吴林坤, 陈婷 (2014) 武夷山不同海拔植被带土壤微生物PLFA分析. *林业科学*, 50(7), 105–112.]
- Xu SX, Shi HF, Zeng YP, Zhang FY, Wang ZH (1998) Biologic characteristics of *Bacillus mycoides* and application of radiation protection. *Chinese Journal of Microecology*, 10, 155–156, 163. (in Chinese with English abstract) [徐书显, 时华富, 曾亚平, 张风云, 王忠海 (1998) 蕈状芽胞杆菌的特性及在辐射防护中的应用. *中国微生态学杂志*, 10, 155–156, 163.]
- Yazdani M, Naderi-Manesh H, Khajeh K, Soudi MR, Asghari SM, Sharifzadeh M (2009) Isolation and characterization of a novel gamma-radiation-resistant bacterium from hot spring in Iran. *Journal of Basic Microbiology*, 49, 119–127.
- Yu ZN, Wang JP, He J (2013) Advance in genome research of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Microbiology*, 33(2), 1–6. (in Chinese with English abstract) [喻子牛, 王阶平, 何进 (2013) 苏云金芽胞杆菌基因组研究. *微生物学杂志*, 33(2), 1–6.]
- Zhang FT, Huang HQ, Cui Y, Sun QG, Zhu J, Liu M, Bao SX (2014) Isolation and diversity of *Bacillus* species from Jiayi tropical rain forest soil. *Journal of Microbiology*, 34(4), 42–46. (in Chinese with English abstract) [张福特, 黄惠琴, 崔莹, 孙前光, 朱军, 刘敏, 鲍时翔 (2014) 佳西热带雨林土壤芽胞杆菌分离与多样性分析. *微生物学杂志*, 34(4), 42–46.]
- Zhang W, Wei HL, Gao HW, Hu YG (2005) Advances of studies on soil microbial diversity and environmental impact factors. *Chinese Journal of Ecology*, 24(1), 48–52. (in Chinese with English abstract) [张薇, 魏海雷, 高洪文, 胡跃高 (2005) 土壤微生物多样性及其环境影响因子研究进展. *生态学杂志*, 24(1), 48–52.]
- Zhang WF, Quan JX, Xie L, Wang Q, Yi YT, Feng MM, Zhu L, Wang RP, Fang XJ (2009) Collection of *Bacillus* and identification of *Bacillus thuringiensis* isolates from tropical rain forest reserves of Hainan Island. *Genomics and Applied Biology*, 28, 265–274. (in Chinese with English abstract) [张文飞, 全嘉新, 谢柳, 王茜, 易艳桃, 丰玫玫, 朱麟, 王锐萍, 方宣钧 (2009) 海南岛热带雨林区芽胞杆菌收集及Bt菌鉴定. *基因组学与应用生物学*, 28, 265–274.]
- Zhang Y, Cong J, Lu H, Li G, Qu Y, Su X, Zhou J, Li D (2014) Community structure and elevational diversity patterns of soil Acidobacteria. *Journal of Environmental Sciences*, 26, 1717–1724.
- Zhang Y, Guo LD, Liu RJ (2003) Diversity and ecology of arbuscular mycorrhizal. *Acta Phytoecologica Sinica*, 27, 537–544. (in Chinese with English abstract) [张英, 郭良栋, 刘润进 (2003) 都江堰地区丛枝菌根真菌多样性与生态研究. *植物生态学报*, 27, 537–544.]
- Zhang YG, Su XJ, Cong J, Chen Z, Lu H, Liu MC, Li DQ (2014) Variation of soil microbial community along elevation in the Shennongjia Mountain. *Scientia Silvae Sinicae*, 50(9), 161–166. (in Chinese with English abstract) [张于光, 宿秀江, 丛静, 陈展, 卢慧, 刘敏超, 李迪强 (2014) 神农架土壤微生物群落的海拔梯度变化. *林业科学*, 50(9), 161–166.]
- Zhou QP, Huang HQ, Cui Y, Liu M, Sun QG, Bao SX (2015) Diversity analysis of culturable *Bacillus*-like species from Jianfengling tropical rain forest soil. *Guangdong Agricultural Sciences*, 42(2), 59–63. (in Chinese with English abstract) [周秋平, 黄惠琴, 崔莹, 刘敏, 孙前光, 鲍时翔 (2015) 尖峰岭热带雨林土壤中可培养芽胞杆菌多样性分析. *广东农业科学*, 42(2), 59–63.]
- Zhou WC, Lin J, Xiao Q (2011) Study on species diversity of land seashell in Wuyi Mountain Nature Reserve. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 38(3), 1–7. (in Chinese with English abstract) [周卫川, 林晶, 肖琼 (2011) 武夷山自然保护区陆生贝类物种多样性研究. *福建林业科技*, 38(3), 1–7.]
- Zhuang TC, Lin P, Chen RH (1997) Amount and group of soil heterotrophic microorganisms in different forest types of Wuyi Mountains. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 36, 293–298. (in Chinese with English abstract) [庄铁成, 林鹏, 陈仁华 (1997) 武夷山不同森林类型土壤异养微生物数量与类群组成. *厦门大学学报(自然科学版)*, 36, 293–298.]

(责任编辑: 东秀珠 责任编辑: 时意专)

•综述•

自然保护地保护成效评估：进展与展望

王伟 辛利娟 杜金鸿 陈冰 刘方正 张立博 李俊生*

(中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012)

摘要: 自然保护地(protected areas)保护成效是指自然保护地对主要保护对象的保护效果, 及其在维持生物多样性和保障生态系统服务功能等方面的综合成效。近年来自然保护地保护成效评估逐渐成为国内外的研究热点之一。本文分别从不同空间尺度、评估对象、评估方法以及评估指标等方面综述了相关的研究进展。总体来看, 近年来的研究已基本覆盖了全球、区域、国家和单个自然保护地等不同尺度, 针对森林、湿地、草地和荒漠等代表性生态系统以及野生动植物等主要保护对象进行了评估, 发展了“matching”技术等更为有效的分析方法, 探索了系统的自然保护地保护成效评估指标体系, 并应用一些指标进行了保护成效的案例研究。自然保护区(nature reserve)是我国自然保护地的主体, 近年来我国自然保护区相关管理部门也相继开展了保护成效评估工作, 建议未来进一步加强自然保护区网络尺度和各类型自然保护区的保护成效评估研究, 将自然保护区保护成效评估与管理评估相结合, 研究自然保护区保护成效面临的新问题和潜在影响, 为提升我国自然保护区管理质量提供科学依据。

关键词: 自然保护地; 自然保护区; 国家公园; 保护成效; 生物多样性; 主要保护对象

Evaluating conservation effectiveness of protected areas: advances and new perspectives

Wei Wang, Lijuan Xin, Jinhong Du, Bing Chen, Fangzheng Liu, Libo Zhang, Junsheng Li*

Biodiversity Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

Abstract: Conservation effectiveness of protected areas indicates the status of main protected objects, and achievements in maintaining biodiversity and ecosystem function. Evaluation of conservation effectiveness is becoming a popular issue surrounding protected areas. From multiple spatial scales, subjects, methods and indicators, we reviewed advances in evaluating conservation effectiveness of protected areas. Recent studies have represented global, regional, national, and individual scales. Evaluated projects include the most common ecosystems (forests, wetlands, grasslands, deserts) and wild species. Evaluation methods have been moving from traditional direct before-and-after or inside-outside comparisons to “matching” techniques, which allows one to control for known landscape or environmental biases when determining the impacts of protection. Some researchers have explored indicator systems to make systematic evaluations of the effectiveness of protected areas, meanwhile others have tested indicators using case studies. In China, nature reserve is the backbone of the country’s protected areas system. Different ministries and state-level authorities have initiated evaluation of conservation effectiveness of nature reserves. We suggest that future studies should explore the following issues to improve the quality of nature reserves: (1) conservation effectiveness of nature reserve networks; (2) conservation effectiveness of different types of reserves; (3) integration of conservation effectiveness and management evaluation; and (4) potential impacts on nature reserves.

Key words: protected areas; nature reserve; national park; conservation effectiveness; biodiversity; main protected objects

自然保护地是世界各国为有效保护生物多样性而划定并实施管理的区域(Borrini-Feyerabend et

al, 2013)。按照世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)的分类标

收稿日期: 2016-06-20; 接受日期: 2016-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31300453)和环保公益性行业科研专项(201209028)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lijsh@craes.org.cn

准,自然保护地可分为自然保护区、荒野保护地、国家公园、自然历史遗迹或地貌、栖息地/物种管理区、陆地景观/海洋景观、自然资源可持续利用自然保护地等不同类型(Dudley, 2015)。根据《生物多样性公约》2010年第10次缔约方大会的决议以及2020年全球生物多样性目标(也称爱知目标)第11条的要求,全球自然保护地在面积、有效性以及连通性等方面仍有待改善(Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014)。为此,需要开展定期评估,以判断自然保护地在多大程度上实现了当初预期的保护目标,从而为了解各类自然保护地的管护效果提供科学依据(Geldmann et al, 2013; 马克平, 2016)。

为统一规范全球各类自然保护地的评估,1997年,世界自然保护地委员会(The World Commission on Protected Areas, WCPA)依据自然保护地管理过

程的基本要素,提出了相关评估框架并列出了基本评价要素(图1),包括背景、规划、投入、管理过程、产出和效果6个方面(Hockings, 2000)。很多国家和组织在WCPA评估框架的基础上,基于不同的目标对象及应用层次,构建了具体的自然保护地评估方法和技术。例如由世界自然基金会(World Wide Fund for Nature, WWF)开发的自然保护地管理快速评估和优先性确定(Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management, RAPPAM)方法(Ervin, 2003),世界银行和WWF共同开发的管理有效性跟踪工具(Management Effectiveness Tracking Tool, METT)调查表(Stolton et al, 2003),联合国教科文组织、IUCN和昆士兰大学联合发布的“增加我们的遗产价值——世界自然遗产地成效的监测与管理”(Enhancing Our Heritage, EOH) (UNESCO et al, 2012)等。然而,早先的评估更多注重自然保护地管

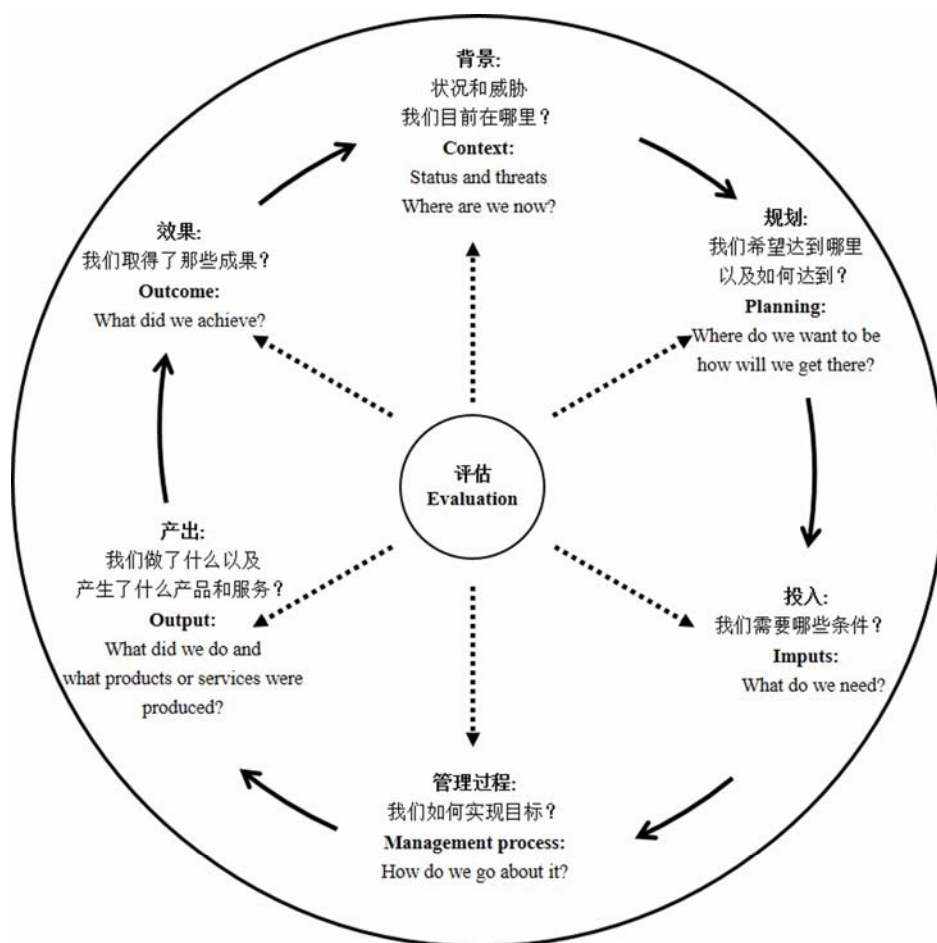


图1 世界自然保护地委员会的自然保护地评估框架(改编自Hockings, 2000)

Fig. 1 The protected areas evaluation framework of the World Commission on Protected Areas (adapted from Hockings, 2000)

理本身,很大程度上依赖文献调研以及管理者和评估专家所提供的观点,对于自然保护区在产出了什么产品和服务以及取得了哪些效果等方面的评价相对不足,一些具体的生态完整性指标尚不完善(Gaston et al, 2006)。近年来,随着长期监测数据的积累以及遥感和地理信息系统等技术的应用,针对自然保护区保护成效的评估逐渐成为研究的热点(Nagendra et al, 2013)。中国作为世界上发展最快的国家之一,能否在持续高速发展的同时有效保护丰富的生物多样性,受到了国内外学者的广泛关注(Cyranoski, 2008; Bawa et al, 2010; Kram et al, 2012; Ren et al, 2015),亦迫切需要对自然保护区保护成效进行评估。

自然保护区保护成效评估是围绕管理产出及效果的要素层面,重点评估自然保护区在维持生物多样性和保障生态系统服务功能等方面的综合成效。本文分别从不同空间尺度、评估对象、评估方法以及评估指标等方面,综述了国内外自然保护区保护成效评估的研究进展,并结合我国的发展历程和现状,对我国自然保护区的保护成效评估工作提出了展望。

1 自然保护区保护成效评估的空间尺度

目前的研究尺度多以自然保护区系统以及单个自然保护区为主。针对单个自然保护区的评估,是围绕主要保护对象,更多关注自然保护区建立以来是否实现了当初设定的保护目标,以及在维持生物多样性和保障生态系统服务功能等方面,随着时间的推移发生了怎样的变化;在自然保护区系统层面的评估则可为大尺度下的所有自然保护区提供参考依据,并在一定程度上进行横向对比。

对自然保护区系统层面的评估,可以在全球、区域或国家等不同尺度开展,从而对不同自然保护区的保护成效进行对比分析。例如Joppa和Pfaff(2011)基于森林丧失速率对全球147个国家的自然保护区进行了评估,结果表明其中109个国家的自然保护区在减缓森林丧失方面取得了较好的效果;Tang等(2011)基于归一化植被指数(NDVI)对全球1,015个大型自然保护区的保护成效进行了研究,整体来看自然保护区在保护植被生产力方面取得了较好的保护成效;Rogers(2011)通过遥感数据评估了非洲中部区域不同国家的自然保护区在减缓

森林丧失方面的成效,发现加蓬的自然保护区森林丧失速率最低,而喀麦隆的自然保护区森林丧失速率最高。国家尺度的评估可以从整体上判别该国自然保护区是否有效,例如哥斯达黎加的自然保护区体系对森林保护成效的评估结果表明,如果没有建立自然保护区,则会有大约10%的森林丧失(Andam et al, 2008);而对肯尼亚野生动物的保护成效评估结果表明,自然保护区内外的野生动物减少程度相近,保护成效有待提升(Western et al, 2009)。

单个自然保护区尺度的保护成效评估结果通常能够为被评估的自然保护区提供科学的保护对策。例如基于哥斯达黎加Osa半岛的Corcovado国家公园保护成效的评估结果,提出了应减少周边森林砍伐以避免国家公园孤岛化的建议(Sanchez-Azofeifa et al, 2002);苏门答腊岛Kerinci Seblat国家公园则基于保护成效的研究结果,建议进一步强化国家公园内的执法以及国家公园周边的产权制度(Linkie et al, 2008)。我国也有一些针对单个自然保护区的类似研究,例如任春颖等(2008)在向海自然保护区的湿地保护有效性分析中,提出人为活动干扰以及自然保护区自身建设与管理中存在的问题是影响自然保护区保护成效的主导因素;关博(2013)^①在吉林长白山国家级自然保护区野生动物保护成效研究中,提出了将长白山野生动物的适宜栖息地全部划入核心区,以及增加野生动物廊道的建议。

除上述两个评估尺度外,近年来一些学者还提出了要加强自然保护区网络尺度的保护成效评估(Gaston et al, 2006)。自然保护区网络通常由生物多样性保护的重要节点(即自然保护区)与连接这些节点的廊道等元素组成(Biondi et al, 2012)。由于单一的自然保护区难以有足够大的面积来维持和保护所有的生物多样性,所以需要通过合适的廊道将这些节点连接成为大的自然保护区网络(王伟等, 2014),如欧洲的Natura 2000保护网络(Leibenath et al, 2005)、中美洲自然保护区网络(Sandwith et al, 2001)等。通过对野生动物在不同自然保护区之间的种群迁移状况进行长期监测,能够为评估廊道的保护效果提供基础(van Aarde & Fairall, 2002),并结合不同自然保护区内的监测结果以实现自然保护区

^① 关博(2013) 吉林长白山国家级自然保护区野生动物保护成效与适宜规模研究. 硕士学位论文, 北京林业大学, 北京。

网络的保护成效评估。不过目前的研究仍以个案探索为主,如对岷山大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)保护网络的保护成效研究(Shen et al, 2015)等,较大尺度自然保护区网络的保护成效研究仍有待加强。

2 自然保护区保护成效评估对象

自然保护区设立的首要目的就是实现生物多样性的就地保护(Dudley, 2015),维持和提升生态系统和物种的保护效果(Timko & Innes, 2009)。因此,自然保护区保护成效研究也主要以生态系统和物种作为评估对象。

2.1 以生态系统为评估对象

自然保护区体系要保护全球各类代表性生态系统(Davey, 1998),包括森林、湿地、草地和荒漠等(Canadell et al, 2007; Forseth, 2010)。从近年来自然保护区保护成效评估的案例来看,自然保护区对各类代表性生态系统的保护成效研究还处在不同发展阶段。

目前,国内外自然保护区对森林生态系统的保护成效研究在方法和指标层面均较为成熟。例如,通过22个国家49个自然保护区对森林的保护成效案例分析发现,北美及欧洲的保护成效较好,而亚洲则因为投入较少以及当地社区的贫困等原因,面临着更多的压力(Nagendra, 2008)。其他研究还包括对缅甸Chatthin野生动物避难所(Chatthin Wildlife Sanctuary)内外森林丧失速率的对比分析(Songer et al, 2009)、巴西阿克里州亚马逊地区的自然保护区在不同保护强度下的森林保护成效研究(Pfaff et al, 2014)、中国海南自然保护区内外森林丧失速率和破碎化程度的对比分析(Wang et al, 2013)等。此外,在我国云南苍山自然保护区的相关研究中,辛利娟等(2015a)基于“压力-状态-响应”(PSR)框架构建了森林保护成效评估的模型,进一步分析了影响自然保护区保护成效的因素。

自然保护区对湿地生态系统的保护成效研究也是当前国内外学者关注的热点之一(郑姚闽等, 2012)。在国家层面,郑姚闽等(2012)从保护价值、湿地的动态变化、物种的增殖扩繁以及功能区的调整等角度出发,初步评估了中国湿地自然保护区的保护成效。在区域层面,路春燕等(2015)以松嫩平原西部国家级湿地自然保护区为研究对象,通过景观发展强度指数分析了自然保护区对湿地的保护成

效。在单个自然保护区层面,Gibbes等(2009)利用土地覆盖、植被指数、破碎化程度等指标,对特立尼达的两个自然保护区对湿地的保护成效进行了对比分析;李利红等(2013)对西门岛海洋特别保护区对滩涂湿地的保护成效进行了评估,滩涂植被面积的显著增加和滩涂养殖面积、光滩面积的相应减少,反映海洋特别保护区的保护效果较好;靳勇超等(2015)以内蒙古辉河国家级自然保护区内湿地和水鸟多样性的动态监测结果为基础,对近10年来的湿地保护成效进行了研究。

相对来说,自然保护区对草地和荒漠的保护成效研究起步较晚(辛利娟等, 2014, 2015b)。近年来,Liira等(2009)在爱沙尼亚Soomaa国家公园分析了5种不同管理模式下草甸的恢复成效;张镔锂等(2015)基于高寒草地植被净初级生产力,研究了青藏高原11个代表性自然保护区的保护成效;辛利娟等(2015b)提出了一套适用于中国荒漠类自然保护区保护成效评估的指标体系,并在安西极旱荒漠国家级自然保护区进行了示范应用;刘方正等(2016)用NDVI分析了安西极旱荒漠国家级自然保护区的植被增长趋势,并基于分析结果评估了自然保护区的保护成效;祁威等(2016)以羌塘和三江源两个国家级自然保护区为案例,同时分析了自然保护区对高寒荒漠、高寒草原、高寒草甸等生态系统的保护成效。从这些研究中可以看出,草地和荒漠往往面临着过度放牧和沙化等因素的影响,属于典型脆弱生态系统,迫切需要进一步加强对此类生态系统服务功能的监测与评估,为提升保护成效提供系统的基础数据。

2.2 以物种为评估对象

物种保护是生物多样性保护的核心内容和自然保护区设立的首要目标之一(蒋志刚等, 1997)。对物种的保护成效评估可反映自然保护区对特定物种或某一类群及其栖息地的保护效果,亦可反映自然保护区对整体物种多样性保护目标的实现情况(Caro, 2009)。

自然保护区对特定物种或某一类群的保护成效评估,主要通过对物种种群数量及其栖息地的动态变化监测来进行。例如大熊猫作为中国的旗舰物种,近10年来的野生种群数量和栖息地面积都在不断增加,各项保护措施已见成效,为此2015年发布的《中国哺乳动物红色名录》将大熊猫的濒危等级由原来的“濒危”降为“易危”(蒋志刚等, 2016);在牛

背梁自然保护区对羚牛(*Budorcas taxicolor*)的保护成效研究中, 羚牛的数量和栖息地面积均呈缓慢增长的趋势, 反映了较好的保护成效(邵建斌等, 2012); 在世界自然遗产地宁巴山(Nimba Mountains), Sandberger-Loua等(2016)研究了旗舰物种宁巴山胎生蟾蜍(*Nimbaphrynoides occidentalis*)的保护成效, 发现该物种的种群数量和分布范围均呈下降趋势。此外, 一些研究以某一类群的物种作为自然保护区保护成效评估的对象, 如黄族豪等(2005)通过研究甘肃盐池湾自然保护区有蹄类动物种群密度的变化, 发现自然保护区对不同物种的保护成效存在差异, 其中对鹅喉羚(*Gazella subgutturosa*)的保护成效较好, 而对岩羊(*Pseudois nayaur*)的保护成效则较差; Stoner等(2007)通过研究坦桑尼亚不同类型的自然保护区内大型食草动物种群密度的变化, 发现保护级别较高的国家公园保护成效更好。

自然保护区对物种多样性层面的保护成效评估, 可通过对比不同年份自然保护区物种种类和数量的调查结果, 结合相应的多样性指数分析来实现。例如从全球来看, Gray等(2016)评估了全球359个自然保护区对全部物种多样性的保护成效, 发现近半数的自然保护区能够实现物种丰富度和多度的有效保护。从区域尺度来看, Craigie等(2010)评估了非洲78个自然保护区对大型哺乳动物的保护成效, 发现自然保护区内的种群指数平均下降了59%, 说明保护成效较差。从国家尺度来看, Woinarski等(2013)评估了澳大利亚北部热带稀树草原区域不同土地所有权对脊椎动物多样性的保护效果, 结果表明将土地划为自然保护区能够更为有效地保护物种多样性。从单个自然保护区尺度来看, 古炎坤等(2002)评估了广州白云山国家级风景名胜区对森林群落物种多样性的保护成效, 指出林分改造能够有效增加当地的物种丰富度。

总体来看, 虽然一些旗舰物种得到的关注较多, 但是多数自然保护区仍普遍缺乏物种多样性的连续调查资料, 特别是自然保护区建立前后以及自然保护区周边区域动态监测数据的匮乏, 成为影响评估准确性的重要制约因素(Coetzee et al, 2014; Gray et al, 2016)。

3 自然保护区保护成效评估方法

自然保护区作为野外实验室, 对保护成效的评

估通常需要借助生物统计学的原理和方法进行实验设计和数据分析(栾晓峰, 2011)。然而自然保护区建成后, 难以获取在相同时间进程中未受到保护的“空白对照样本”, 从而无法直接度量保护成效及其与影响因子的关系。因此, 一些研究多以自然保护区建立前后的简单纵向对比(例如Liu et al, 2001; Gaveau et al, 2007), 或自然保护区内外变化的直接横向对比(例如Linkie et al, 2004; 王昊等, 2015)为主要方法。然而, 由于自然保护区及周边区域的气候、土壤、生物等环境因素随时间或空间的差异(Joppa & Pfaff, 2010), 仅通过简单的自然保护区建立前后或自然保护区内外的对比分析, 难以准确判别相关指标的变化是保护工作所取得的成效, 还是由于环境因素的差异而导致的。

由此, 一些学者提出应用“matching”的分析方法找到相近的“空白对照样本”(Joppa & Pfaff, 2009, 2010)。如图2所示, 直接的自然保护区内外对比是分析自然保护区A1与外部区域A2 (或A3)之间相关评估指标的差异; 而“matching”分析则是先找到与自然保护区B1环境本底相近似的外部区域B2 (或B3)作为对照, 再比较B1与B2 (或B3)之间相关评估指标的差异。“matching”分析方法已经在墨西哥(Mas, 2005)、哥斯达黎加(Andam et al, 2008)、印度尼西亚(Gaveau et al, 2009)等国家进行了案例研究, 并在我国全国尺度的森林保护成效评估中进行了应用(Ren et al, 2015)。相较于直接的自然保护区内外对比, “matching”分析方法获得的评估结果更为

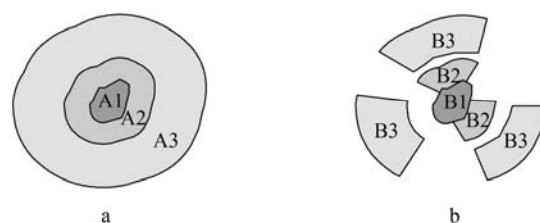


图2 自然保护区保护成效评估示意。(a)自然保护区内外直接对比分析; (b)“matching”分析。其中A1和B1为自然保护区, A2和B2为自然保护区周边区域, A3和B3为距离自然保护区较远的区域。

Fig. 2 Effectiveness assessment of protected areas. (a) Direct inside-outside comparison; (b) “matching” analysis. (A1 and B1 are protected areas, A2 and B2 are surrounding areas outside of the protected areas, A3 and B3 are wider landscape outside of the protected areas.

可靠(Coetzee et al, 2014)。

近年来一些学者提出自然保护地存在“溢出”(leakage或spillover)效应,即建立自然保护地可能会把原本发生于自然保护地内部的人类活动转移至自然保护地周边的非保护区域(如图2的A2与B2区域),这种情况下自然保护地内部的森林受到的干扰和退化较少,然而在自然保护地周边邻近区域森林的退化却显著增加(Oliveira et al, 2007; Ewers & Rodrigues, 2008)。不同的研究发现自然保护地的“溢出”并非都是负效应,也有可能存在正效应,即自然保护地周边邻近区域(如图2的A2与B2区域)的森林退化速率显著低于距离自然保护地较远的区域(如图2的A3与B3区域)(Gaveau et al, 2009; Wang et al, 2013)。

因此,自然保护地保护成效评估不仅涉及自然保护地内部生物多样性的变化,同时还包括自然保护地及其周边区域的内外对比分析和“溢出”效应分析。在具体的评估过程中,采用“matching”技术来避免气候、土壤、生物等环境因素对评估结果的影响,已成为近年来提升自然保护地保护成效评估准确度的重要分析方法(Coetzee et al, 2014)。

4 自然保护地保护成效评估指标

在不同研究案例中所涉及的具体指标各有不同。如热带地区自然保护地的保护成效评估涉及了5项主要指标:土地覆盖变化、打猎、砍伐、火灾以及放牧(Bruner et al, 2001);在加拿大和南非的6个国家公园的保护成效评估中包括了本地物种、濒危物种、景观多样性、生态系统服务功能、以及对于威胁的适应性等一系列反映生态整体性的指标(Timko & Satterfield, 2008);在乌干达西部的Kibale国家公园保护成效评估中,涉及了森林覆盖、乔木物种和灵长类种群数量,以及周边区域的人类福祉指标(安全饮水、持久的屋顶建材)等指标(Naughton-Treves et al, 2011)。由于全球各类不同自然保护地的实际情况不尽相同,近年来的一些研究逐步提出了保护成效评估的指标体系,以期在一定程度上为不同区域的自然保护地评估提供指导。例如Gaston (2008)提出自然保护地的保护成效评估可以包括土地覆盖类型、植被覆盖面积、物种多样性、荒地面积等指标;Geldman等(2010)则建议以物种多样性和生境质量作为反映自然保护地保护成效的

重点指标。我国在评估指标方面亦针对不同类型的自然保护地进行了研究,如草地自然保护区(辛利娟等, 2014)、荒漠自然保护区(辛利娟等, 2015b)、野生生物自然保护区(晏玉莹等, 2015; 杨道德等, 2015; 喻勋林等, 2015)、国家湿地公园(吴后建等, 2014)等,并发布了保护成效评估的技术规范(国家林业局, 2014a, b, c, d)。

为实现自然保护地保护成效的快速评估,国内外研究中亦有使用单一指标的评估案例,其中以土地覆盖变化作为指标的居多,例如在加拿大阿尔伯塔省Elk岛国家公园(Young et al, 2006)、秘鲁亚马逊区域的自然保护地(Oliveira et al, 2007)、印度尼西亚苏门答腊岛自然保护地(Gaveau et al, 2009)、东非自然保护地(Pfeifer et al, 2012),以及巴西亚马逊地区自然保护地(Nolte et al, 2013)等。除土地覆盖变化外,其他研究中涉及的单一指标还包括:在全球自然保护地对植物生产力的保护成效评估中的归一化植被指数(Tang et al, 2011),在研究发展中国家的自然保护地对热带雨林的保护成效时的森林火灾(Nelson & Chomitz, 2011),在坦桑尼亚自然保护地对大型食草动物的保护成效评估中的种群密度(Stoner et al, 2007),在四川卧龙国家级自然保护区对大熊猫的保护成效评估中的大熊猫生境质量(Liu et al, 2001)。

由此可见,对不同的自然保护地来说,在保护对象、功能、主要威胁以及采取的保护措施等方面不尽相同,因此需要围绕单个自然保护地在实际工作中的需求,构建科学合理的保护成效评估指标体系,并结合各项指标长期监测数据的动态变化分析,以实现自然保护地保护成效的系统评估。但由于长期监测数据的不足,一些案例通过单一指标或少数指标对自然保护地保护成效进行的快速评估,亦能在一定程度上为自然保护地的有效管理和宏观决策提供参考。

5 存在的问题及展望

自然保护地保护成效评估作为国内外生态学家关注的重点议题之一,近年来的研究已基本覆盖了全球、区域、国家和单个自然保护地等不同尺度,针对森林、湿地、草地和荒漠等代表性生态系统以及野生动植物等主要保护对象均进行了研究,发展了“matching”技术等更为有效的分析方法,探索了

系统的自然保护区保护成效评估指标体系,并应用一些指标进行了自然保护区保护成效案例研究。然而,从自然保护区实践应用中的需求来看,现有的自然保护区保护成效研究中仍存在一些亟待解决的问题。主要表现在:(1)由于自然保护区之间的连通性仍有待加强,目前针对大尺度下自然保护区网络的保护成效研究不足;(2)多数自然保护区仍普遍缺乏生态系统和物种多样性的连续监测资料,难以为保护成效的系统评估提供全面的基础数据;(3)自然保护区对周边区域的潜在效应及其影响机制仍需要进一步探索;(4)自然保护区保护成效评估与具体管理工作衔接不足,不易准确判别相关指标的变化与哪项具体保护工作有关,评估结果较难直接应用于管理实践。这些研究进展和亟待解决的问题,也为我国的自然保护区保护成效研究提供了努力方向。

自然保护区是我国自然保护区的主体组成部分(Li et al, 2016)。根据《中华人民共和国自然保护区条例》,我国的自然保护区是指对有代表性的自然生态系统、珍稀濒危野生动植物物种的天然集中分布区、有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地、陆地水体或者海域,依法划出一定面积予以特殊保护和管理的区域。截至2015年底,全国共建立各种类型、不同级别的自然保护区2,740个,总面积约14,703万ha,其中陆域面积14,247万ha,占全国陆地面积的14.8% (环境保护部, 2016)。近年来,随着社会经济活动的加剧,我国的自然保护区亦受到了一定影响,不仅表现为生态系统的破碎化,更为严重的是其生态功能(如维系物种多样性)等方面的退化或丧失。通过自然保护区的评估及时发现问题,提出有针对性的解决方案和建议,改进管理方式和手段,已成为我国自然保护区的重要工作之一(栾晓峰, 2011)。

我国自然保护区早期的评估多以管理层面的研究为主(薛达元和郑允文, 1994; 谢志红和徐永新, 2003),一些自然保护区主管部门也出台了管理评估的标准或方法,如环境保护部等七部委联合开展的国家级自然保护区管理评估赋分表,以及2008年国家林业局发布实施的“自然保护区有效管理评价技术规范”(国家林业局, 2008)等。此外,一些学者也应用国际成熟的评估方法在我国自然保护区进行了案例研究,如基于RAPPAM在吉林省、海南

省、北京市等自然保护区进行了评估(王琪等, 2005; 莫燕妮和洪小江, 2007; 刘义等, 2008),基于METT构建了评分表并在我国535个自然保护区进行了评估(权佳等, 2009)等。尽管这些评估工作对我国自然保护区的建设和发展起到了积极的推动作用,但仍普遍缺少量化的保护成效评估。

近年来,我国自然保护区相关管理部门开始重视自然保护区的保护效果,并相继开展了一系列保护成效评估项目。例如国家林业局在2011年启动了“严格自然保护区保护成效评价与适宜规模研究”项目;2012–2014年,环境保护部实施了“国家级自然保护区保护成效评估与规范化建设关键技术研究”项目;2016年,中国科学院启动了“中国典型自然保护区保护成效评估”项目等。相关研究表明,经过60年来的发展,尽管我国自然保护区事业取得了一定成效,但还普遍面临着本底不清和科研监测能力薄弱等问题,这对我国自然保护区保护成效评估的方法和相应监测工作提出了更高的要求。在自然保护区保护成效评估的尺度、对象以及标准规范等方面仍亟需加强,只有这样才能实现科学研究与管理实践的有机结合,为自然保护区的有效管理和宏观决策提供重要依据。为此,本文从以下几个方面对我国自然保护区保护成效评估研究作出展望。

(1)加大自然保护区网络尺度的保护成效评估研究。在全球、国家或地区尺度开展自然保护区网络的保护成效评估是国际研究的热点之一。目前我国已在全国或省区尺度对自然保护区的保护成效进行了初步评估。然而由于长期以来在自然保护区网络层面的建设和管理相对薄弱,对于全国尺度自然保护区网络的保护成效评估仍有待加强;同时,开展各省区尺度自然保护区网络的保护成效研究,并基于相关研究成果为本省的自然保护区管理提供科学决策依据。

(2)加强不同类型自然保护区保护成效评估研究。由于不同类型的自然保护区在设立目标和主要保护对象以及建设管理水平等方面均不尽相同,科研监测等基础工作也存在较大差异,因此需要区别开展保护成效研究。目前我国自然保护区的保护成效评估主要是针对森林和湿地等生态系统类型的自然保护区开展研究,其他类型如草地和荒漠生态系统(辛利娟等, 2014, 2015b)以及野生生物类自然保护区(关博等, 2012; 晏玉莹等, 2015; 杨道德等,

2015; 喻勋林等, 2015)则以个案研究或指标体系探讨为主, 尚缺乏在全国或单个自然保护区案例方面的示范应用。另外, 海洋生态系统类型和自然遗迹类自然保护区的保护成效评估也相对不足, 均有必要加强该方面的相关工作。

(3)将保护成效评估与管理评估相结合。依据 WCPA 制定的自然保护地评估框架, 针对自然保护区的管理评估(如背景、规划、投入、管理过程等)和保护成效评估(如管理结果和效果)是密不可分的两个方面。目前我国自然保护区的管理评估工作中, 已有少量指标涉及保护成效, 例如环境保护部等七部委共同开展的国家级自然保护区管理评估工作中, 使用的“主要保护对象动态变化”指标。但在实际应用过程中, 通常是专家根据自然保护区管理者的描述并结合自己的经验给出定性打分, 缺乏相关的量化数据支持。因此, 建议今后的评估工作将自然保护区保护成效评估与管理评估相结合, 识别影响保护成效的具体措施, 为进一步提升自然保护区管理质量提供科学依据。

(4)研究自然保护区保护成效面临的新问题。近年来, 随着转基因、外来入侵物种、气候变化、生物多样性保护与减贫等热点问题的出现, 特别是一些交叉学科的发展, 自然保护区保护成效研究也需要发展新的技术和方法。例如近年来国际上已有一些学者开展了气候变化下的自然保护地保护成效(D'Amen et al, 2011)、外来入侵物种对保护成效的影响(Kleinbauer et al, 2010), 以及自然保护地保护成效与周边社区经济发展的关系(Naughton-Treves et al, 2011; Pfaff et al, 2014)等方面的研究。随着我国自然保护区的发展, 在自然保护区保护成效评估中亦有必要开展类似研究, 为探究自然保护区的潜在影响, 促进自然保护区与周边社区的协同发展奠定基础。

参考文献

- Andam KS, Ferraro PJ, Pfaff A, Sanchez-Azofeifa GA, Robalino JA (2008) Measuring the effectiveness of protected areas networks in reducing deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105, 16089–16094.
- Bawa KS, Koh LP, Lee TM, Liu JG, Ramakrishnan PS, Yu DW, Zhang YP, Raven PH (2010) China, India, and the environment. *Science*, 327, 1457–1458.
- Biondi E, Casavecchia S, Pesaresi S, Zivkovic L (2012) Natura 2000 and the Pan-European Ecological Network: a new methodology for data integration. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1741–1754.
- Borrini-Feyerabend G, Dudley N, Jaeger T, Lassen B, Broome NP, Phillips A, Sandwith T (2013) *Governance of Protected Areas: from Understanding to Action*. IUCN, Switzerland.
- Bruner AG (2001) Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291, 125–128.
- Canadell JG, Pataki DE, Pitelka LF (2007) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Caro T, Gardner TA, Stoner C, Fitzherbert E, Davenport TRB (2009) Assessing the effectiveness of protected areas: paradoxes call for pluralism in evaluating conservation performance. *Diversity and Distributions*, 15, 178–182.
- Coetzee BW, Gaston KJ, Chown SL (2014) Local scale comparisons of biodiversity as a test for global protected area ecological performance: a meta-analysis. *PLoS ONE*, 9, e105824.
- Craigie ID, Baillie JEM, Balmford A, Carbone C, Collen B, Green RE, Hutton JM (2010) Large mammal population declines in Africa's protected areas. *Biological Conservation*, 143, 2221–2228.
- Cyranoski D (2008) Visions of China. *Nature*, 454, 384–387.
- D'Amen M, Bombi P, Pearman PB, Schmatz DR, Zimmermann NE, Bologna MA (2011) Will climate change reduce the efficacy of protected areas for amphibian conservation in Italy? *Biological Conservation*, 144, 989–997.
- Davey AG (1998) *National System Planning for Protected Areas*. IUCN, Gland and Cambridge.
- Dudley N (translated by Zhu CQ, Ouyang ZY) (2015) *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [朱春全, 欧阳志云 (译) (2015) *IUCN自然保护地管理分类应用指南*. 中国林业出版社, 北京.]
- Ervin J (2003) *Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPAM) Methodology*. World Wide Fund for Nature (WWF), Switzerland.
- Ewers RM, Rodrigues ASL (2008) Estimates of reserve effectiveness are confounded by leakage. *Trends in Ecology and Evolution*, 23, 113–116.
- Forseth IN (2010) Terrestrial biomes. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 11.
- Gaston KJ, Charman K, Jackson SF, Armsworth PR, Bonn A, Briers RA, Callaghan CSQ, Catchpole R, Hopkins J, Kunin WE, Latham J, Opdam P, Stoneman R, Stroud DA, Tratt R (2006) The ecological effectiveness of protected areas: The United Kingdom. *Biological Conservation*, 132, 76–87.
- Gaston KJ, Jackson SF, Cantú-Salazar L, Cruz-Piñón G (2008) The ecological performance of protected areas. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 93–113.
- Gaveau DLA, Wandono H, Setiabudi F (2007) Three decades of deforestation in southwest Sumatra: have protected areas halted forest loss and logging, and promoted re-growth? *Biological Conservation*, 134, 495–504.
- Gaveau DLA, Epting J, Lyne O, Linkie M, Kumara I, Kan-

- ninen M, Leader-Williams N (2009) Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography*, 36, 2165–2175.
- Geldman J, Barnes M, Coad L, Craigie I, Hocking M, Burgess N (2010) Effectiveness of Protected Areas in Maintaining Biodiversity and Reducing Habitat Loss. CEE Protocol 10-007. <http://www.environmentalevidence.org/SR10007.html>. (accessed on 2016-04-20)
- Geldmann J, Barnes M, Coad L, Craigie ID, Hockings M, Burgess ND (2013) Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines. *Biological Conservation*, 161, 230–238.
- Gibbes C, Southworth J, Keys E (2009) Wetland conservation: change and fragmentation in Trinidad's protected areas. *Geoforum*, 40, 91–104.
- Gray CL, Hill SL, Newbold T, Hudson LN, Borger L, Contu S, Hoskins AJ, Ferrier S, Purvis A, Scharlemann JP (2016) Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications*, 7, 12306.
- Gu YK, Xie ZS, Su ZY, Chen BG, Zhou DZ, Tan RJ, Lin SH, Li BQ (2002) Preliminary evaluation of the forest rehabilitation of the masson pine community in the Baiyunshan National Scenic Spot, Guangzhou. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 18(4), 11–17. (in Chinese with English abstract) [古炎坤, 谢正生, 苏志尧, 陈北光, 周大珠, 谭瑞金, 林书豪, 李炳球 (2002) 广州白云山国家级风景名胜马尾松林分改造效果的初步评价. *广东林业科技*, 18(4), 11–17.]
- Guan B, Cui GF, Piao ZJ (2012) A review of assessment of wildlife conservation effectiveness in nature reserve. *World Forestry Research*, 25(6), 40–45. (in Chinese with English abstract) [关博, 崔国发, 朴正吉 (2012) 自然保护区野生动物保护成效评价研究综述. *世界林业研究*, 25(6), 40–45.]
- Hockings M (2000) Evaluating Protected Area Management: A Review of System for Assessing Management Effectiveness of Protected Areas. Lawes, University of Queensland, Australia.
- Huang ZH, Liu NF, Zhang LX, Long J, Liu CB (2005) Change of ungulate species resource in Gansu Yanchiwan Natural Reserve. *Journal of Economic Animal*, 9, 246–248. (in Chinese with English abstract) [黄族豪, 刘迺发, 张立勋, 龙进, 刘重斌 (2005) 甘肃盐池湾自然保护区有蹄类动物资源变化. *经济动物学报*, 9, 246–248.]
- Jiang ZG, Li LL, Luo ZH, Tang SH, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Feng ZJ, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Ping XG, Fang HX (2016) Evaluating the status of China's mammals and analyzing their causes of endangerment through the red list assessment. *Biodiversity Science*, 24, 552–567. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚, 李立立, 罗振华, 汤宋华, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 冯祚建, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 平晓鸽, 方红霞 (2016) 通过红色名录评估研究中国哺乳动物受威胁现状及其原因. *生物多样性*, 24, 552–567.]
- Jiang ZG, Ma KP, Han XG (1997) *Conservation Biology*. Zhejiang Science & Technology Press, Hangzhou. (in Chinese) [蒋志刚, 马克平, 韩兴国 (1997) *保护生物学*. 浙江科学技术出版社, 杭州.]
- Jin YC, Luo JW, Zhu YP, Xin LJ, Diao ZY, Chen B, Wang W (2015) Assessment of effectiveness of wetland conservation in Huihe National Nature Reserve in Inner Mongolia. *Research of Environmental Sciences*, 28, 1424–1429. (in Chinese with English abstract) [靳勇超, 罗建武, 朱彦鹏, 辛利娟, 刁兆岩, 陈冰, 王伟 (2015) 内蒙古辉河国家级自然保护区湿地保护成效. *环境科学研究*, 28, 1424–1429.]
- Joppa LN, Pfaff A (2009) High and far: biases in the location of protected areas. *PLoS ONE*, 4, e8273.
- Joppa LN, Pfaff A (2010) Reassessing the forest impacts of protection: the challenge of nonrandom location and a corrective method. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185, 135–149.
- Joppa LN, Pfaff A (2011) Global protected area impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, 1633–1638.
- Kleinbauer I, Dullinger S, Peterseil J, Essl F (2010) Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudacacia* into nature reserves and endangered habitats. *Biological Conservation*, 143, 382–390.
- Kram M, Bedford C, Durnin M, Luo Y, Rokpelnis K, Roth B, Smith N, Wang Y, Yu G, Yu Q, Zhao X (2012) *Protecting China's Biodiversity: A Guide to Land Use, Land Tenure, and Land Protection Tools*. The Nature Conservancy, Beijing.
- Leibenath M, Rientjes S, Lintz G, Klbe-Weber C, Walz U (2005) *Crossing Borders: Natura 2000 in the Light of EU Enlargement*. European Centre for Nature Conservation, Tilburg, The Netherlands, and Leibniz Institute of Ecological and Regional Development, Dresden, Germany.
- Li JS, Wang W, Axmacher JC, Zhang YY, Zhu YP (2016) Streamlining China's protected areas. *Science*, 351, 1160.
- Li LH, Zhang HG, Shi AQ, Li DL (2013) Study on wetland landscape pattern change in the Ximen Island Marine Special Protected Area based on RS and GIS. *Remote Sensing Technology and Application*, 28(1), 129–136. (in Chinese with English abstract) [李利红, 张华国, 史爱琴, 厉冬玲 (2013) 基于RS/GIS的西门岛海洋特别保护区滩涂湿地景观格局变化分析. *遥感技术与应用*, 28(1), 129–136.]
- Liira J, Issak M, Jõgar Ü, Mändoja M, Zobel M (2009) Restoration management of a floodplain meadow and its cost-effectiveness: the results of a 6-year experiment. *Annales Botanici Fennici*, 46, 397–408.
- Linkie M, Smith RJ, Leader-Williams N (2004) Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1809–1818.
- Linkie M, Smith RJ, Zhu Y, Martyr DJ, Suedmeyer B, Pramono J, Leader-Williams N (2008) Evaluating biodiversity

- sity conservation around a large Sumatran protected area. *Conservation Biology*, 22, 683–690.
- Liu FZ, Zhang JL, Wang L, Yang ZW, Cui GF (2016) Vegetation growth and conservation efficacy assessment in the southern part of the Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-arid Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 36, 1582–1590. (in Chinese with English abstract) [刘方正, 张建亮, 王亮, 杨增武, 崔国发 (2016) 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片植被长势与保护成效. *生态学报*, 36, 1582–1590.]
- Liu J, Linderman M, Ouyang Z, An L, Yang J, Zhang H (2001) Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong Nature Reserve for Giant Pandas. *Science*, 292, 98–101.
- Liu Y, Yuan X, Li JW, Li JQ (2008) Assessing management effectiveness and setting priorities for nature reserves in Beijing. *Forest Resources Management*, (4), 58–63. (in Chinese with English abstract) [刘义, 袁秀, 李景文, 李俊清 (2008) 北京市自然保护区管理有效性评估及优先性确定. *林业资源管理*, (4), 58–63.]
- Lu CY, Wang ZM, Liu MY, Ouyang L, Jia MM, Mao DH (2015) Analysis of conservation effectiveness of wetland protected areas based on remote sensing in West Songnen Plain. *China Environmental Science*, 35, 599–609. (in Chinese with English abstract) [路春燕, 王宗明, 刘明月, 欧阳玲, 贾明明, 毛德华 (2015) 松嫩平原西部湿地自然保护区保护有效性遥感分析. *中国环境科学*, 35, 599–609.]
- Luan XF (2011) *A Course of Nature Reserve Management*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [栾晓峰 (2016) 自然保护区管理教程. 中国林业出版社, 北京.]
- Ma KP (2016) On key issues and possible solutions related to nature reserve management in China. *Biodiversity Science*, 24, 249–251. (in Chinese) [马克平 (2016) 当前我国自然保护区管理中存在的问题与对策思考. *生物多样性*, 24, 249–251.]
- Mas JF (2005) Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105, 69–80.
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China (2016) *China Environmental Status Bulletin 2015*. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201606/t20160602_338534.htm. (in Chinese) [环境保护部 (2016) 2015中国环境状况公报. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201606/t20160602_338534.htm. (accessed on 2016-06-02)]
- Mo YN, Hong XJ (2007) Management effectiveness assessment for Hainan forestry nature reserve. *Tropical Forestry*, 35(4), 12–16. (in Chinese with English abstract) [莫燕妮, 洪小江 (2007) 海南省林业系统自然保护区管理有效性评估. *热带林业*, 35(4), 12–16.]
- Nagendra H (2008) Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. *Ambio*, 37, 330–337.
- Nagendra H, Lucas R, Honrado JP, Jongmand RHG, Tarantino C, Adamoe M, Mairotat P (2013) Remote sensing for conservation monitoring: assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 33, 45–59.
- Naughton-Treves L, Alix-Garcia J, Chapman CA (2011) Lessons about parks and poverty from a decade of forest loss and economic growth around Kibale National Park, Uganda. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108, 13919–13924.
- Nelson A, Chomitz KM (2011) Effectiveness of strict vs. multiple use protected areas in reducing tropical forest fires: a global analysis using matching methods. *PLoS ONE*, 6, e22722.
- Nolte C, Agrawal A, Silvius KM, Soares-Filho BS (2013) Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 4956–4961.
- Oliveira PJ, Asner GP, Knapp DE, Almeyda A, Galvan-Gildemeister R, Keene S, Raybin RF, Smith RC (2007) Land-use allocation protects the Peruvian Amazon. *Science*, 317, 1233–1236.
- Pfaff A, Robalina J, Lima E, Sandoval C, Herrera LD (2014) Governance, location and avoided deforestation from protected areas: greater restrictions can have lower impact, due to differences in location. *World Development*, 55, 7–20.
- Pfeifer M, Burgess ND, Swetnam RD, Platts PJ, Willcock S, Marchant R (2012) Protected areas: mixed success in conserving East Africa's evergreen forests. *PLoS ONE*, 7, e39337.
- Qi W, Bai WQ, Zhang YL, Wu X, Li LH, Ding MJ, Zhou CP (2016) Effects of ecological engineering on net primary production in the Chang Tang and Sanjiangyuan national nature reserves on the Tibetan Plateau. *Biodiversity Science*, 24, 127–135. (in Chinese with English abstract) [祁威, 摆万奇, 张镔铨, 吴雪, 李兰晖, 丁明军, 周才平 (2016) 生态工程实施对羌塘和三江源国家级自然保护区植被净初级生产力的影响. *生物多样性*, 24, 127–135.]
- Quan J, Ouyang ZY, Xu WH, Miao H (2009) Management effectiveness of China nature reserves: status quo assessment and counter measures. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20, 1739–1746. (in Chinese with English abstract) [权佳, 欧阳志云, 徐卫华, 苗鸿 (2009) 中国自然保护区管理有效性的现状评价与对策. *应用生态学报*, 20, 1739–1746.]
- Ren CY, Zhang B, Zhang SQ, Wang ZM, Song KS, Yang J (2007) Effects of wetland protection and influential factors in Xianghai Nature Reserve. *Resources Science*, 29(6), 75–82. (in Chinese with English abstract) [任春颖, 张柏, 张树清, 王宗明, 宋开山, 杨军 (2007) 向海自然保护区湿地资源保护有效性及其影响因素分析. *资源科学*, 29(6), 75–82.]
- Ren GP, Young SS, Wang L, Wang W, Long YC, Wu RD, Li

- JS, Zhu JG, Yu DW (2015) Effectiveness of China's National Forest Protection Program and nature reserves. *Conservation Biology*, 5, 1368–1377.
- Rogers J (2011) The Effectiveness of Protected Areas in Central Africa: A Remotely Sensed Measure of Deforestation and Access. PhD Dissertation, Columbia University, New York.
- Sanchez-Azofeifa GA, Rivard B, Calvo J, Moorthy I (2002) Dynamics of tropical deforestation around national parks: remote sensing of forest change on the Osa Peninsula of Costa Rica. *Mountain Research and Development*, 22, 352–358.
- Sandberger-Loua L, Doumbia J, Rödel M (2016) Conserving the unique to save the diverse—identifying key environmental determinants for the persistence of the viviparous Nimba toad in a West African World Heritage Site. *Biological Conservation*, 198, 15–21.
- Sandwith T, Shine C, Hamilton L, Sheppard D (2001) Transboundary Protected Areas for Peace and Co-operation. The Lavenham Press Ltd., Lavenham, UK.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) Global Biodiversity Outlook 4. Montreal, Canada.
- Shao JB, Zhao WC, Xie ZF, Duan WD, Zhang QQ, Lin JW (2012) Population status of Takin *Budorcas taxicolor* and threat assessment at Niubeiliang National Nature Reserve, Shaanxi. *Chinese Journal of Wildlife*, 33(2), 55–58. (in Chinese with English abstract) [邵建斌, 赵文超, 解振锋, 段文东, 张奇奇, 蔺俊武 (2012) 牛背梁国家级自然保护区羚牛种群状况及濒危原因分析. *野生动物*, 33(2), 55–58.]
- Shen GZ, Pimm SL, Feng C, Ren G, Liu Y, Xu W, Li J, Si X, Xie ZQ (2015) Climate change challenges the current conservation strategy for the giant panda. *Biological Conservation*, 190, 43–50.
- Songer M, Aung M, Senior B, DeFries R, Leimgruber P (2009) Spatial and temporal deforestation dynamics in protected and unprotected dry forests: a case study from Myanmar (Burma). *Biodiversity and Conservation*, 18, 1001–1018.
- Stolton S, Hockings M, Dudley N, MacKinnon K, Whitten T (2003) Reporting Progress in Protected Areas: A Site-Level Management Effectiveness Tracking Tool. <http://documents.shihang.org/curated/zh/291981468171569997/pdf/32939-a10ENGLISHInProtectedAreasTool.pdf>. (accessed on 2016-08-12)
- Stoner C, Caro T, Mduma S, Mlingwa C, Sabuni G, Borner M (2007) Assessment of effectiveness of protection strategies in Tanzania based on a decade of survey data for large herbivores. *Conservation Biology*, 21, 635–646.
- Tang Z, Fang J, Sun J, Gaston KJ (2011) Effectiveness of protected areas in maintaining plant production. *PLoS ONE*, 6, e19116.
- The State Forestry Administration of the People's Republic of China (2008) Technical Regulations for the Management Effectiveness Evaluation of Nature Reserves. China Standard Press, Beijing. (in Chinese) [国家林业局 (2008) 自然保护区有效管理评价技术规范. 中国标准出版社, 北京.]
- The State Forestry Administration of the People's Republic of China (2014a) Technical Guidelines for Assessing Conservation Efficiency of Nature Reserves—Part 1: Wild Plant Conservation. China Standard Press, Beijing. (in Chinese) [国家林业局 (2014a) 自然保护区保护成效评估技术导则第1部分: 野生植物保护. 中国标准出版社, 北京.]
- The State Forestry Administration of the People's Republic of China (2014b) Technical Guidelines for Assessing Conservation Efficiency of Nature Reserves—Part 2: Vegetation Conservation. China Standard Press, Beijing. (in Chinese) [国家林业局 (2014b) 自然保护区保护成效评估技术导则第2部分: 植被保护. 中国标准出版社, 北京.]
- The State Forestry Administration of the People's Republic of China (2014c) Technical Guidelines for Assessing Conservation Efficiency of Nature Reserves—Part 3: Landscape Conservation. China Standard Press, Beijing. (in Chinese) [国家林业局 (2014c) 自然保护区保护成效评估技术导则第3部分: 景观保护. 中国标准出版社, 北京.]
- The State Forestry Administration of the People's Republic of China (2014d) Technical Guidelines for Assessing Conservation Efficiency of Nature Reserves—Part 4: Wildlife Conservation. China Standard Press, Beijing. (in Chinese) [国家林业局 (2014d) 自然保护区保护成效评估技术导则第4部分: 野生动物保护. 中国标准出版社, 北京.]
- Timko J, Satterfield T (2008) Criteria and indicators for evaluating social equity and ecological integrity in national parks and protected areas. *Natural Areas Journal*, 28, 307–319.
- Timko JA, Innes JL (2009) Evaluating ecological integrity in national parks: case studies from Canada and South Africa. *Biological Conservation*, 142, 676–688.
- UNESCO, ICCROM, ICOMOS, IUCN (2012) Managing Natural World Heritage. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.
- van Aarde RJ, Fairall N (2002) Restoration of the Tembe-Futi-Maputo Coastal Plains Elephant Population: Annual Report to US Fish & Wildlife Service 2001/2002. University of Pretoria, Pretoria, South Africa.
- Wang H, Lü Z, Gu L, Wen C (2015) Observations of China's forest change (2000–2013) based on Global Forest Watch dataset. *Biodiversity Science*, 23, 575–582. (in Chinese with English abstract) [王昊, 吕植, 顾垒, 闻丞 (2015) 基于Global Forest Watch观察2000–2013年间中国森林变化. *生物多样性*, 23, 575–582.]
- Wang Q, Wu L, Lun XW, Wang GJ (2005) Research on efficient management of protected areas in Jilin Province. *Journal of Jilin Institute of Chemical Technology*, 22(1), 24–26. (in Chinese with English abstract) [王琪, 吴磊, 伦小文, 王桂君 (2005) 吉林省自然保护区的管理有效性研究. *吉林化工学院学报*, 22(1), 24–26.]
- Wang W, Pechacek P, Zhang MX, Xiao NW, Zhu JG, Li JS (2013) Effectiveness of nature reserve system for conserving tropical forests: a statistical evaluation of Hainan Island, China. *PLoS ONE*, 8, e57561.

- Wang W, Tian Y, Chang M, Li JS (2014) A review of trans-boundary protected areas network establishment. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 1391–1400. (in Chinese with English abstract) [王伟, 田瑜, 常明, 李俊生 (2014) 跨界保护区网络构建研究进展. *生态学报*, 34, 1391–1400.]
- Western D, Russell S, Cuthill I (2009) The status of wildlife in protected areas compared to non-protected areas of Kenya. *PLoS ONE*, 4, e6140.
- Woinarski J, Green J, Fisher A, Ensbey M, Mackey B (2013) The effectiveness of conservation reserves: land tenure impacts upon biodiversity across extensive natural landscapes in the tropical savannahs of the northern territory, Australia. *Land*, 2, 20–36.
- Wu HJ, Huang Y, Dan XQ, Zhong YD, Shu Y, Liu YJ (2014) System of evaluation indicators of construction effect of national wetland park and its application: a case of Qianlong Lake National Wetland Park in Hunan Province. *Wetland Science*, 12, 638–645. (in Chinese with English abstract) [吴后建, 黄琰, 但新球, 钟永德, 舒勇, 刘扬晶 (2014) 国家湿地公园建设成效评价指标体系及其应用: 以湖南千龙湖国家湿地公园为例. *湿地科学*, 12, 638–645.]
- Xie ZH, Xu YX (2003) Evaluation of management effectiveness of the nature reserves from Hunan Province. *Hunan Forestry Science & Technology*, 30(2), 7–10. (in Chinese with English abstract) [谢志红, 徐永新 (2003) 湖南省自然保护区管理有效性评价. *湖南林业科技*, 30(2), 7–10.]
- Xin LJ, Wang W, Jin YC, Diao ZY, Li JS (2014) Indices of ecological effects of grassland nature reserves in China. *Pratacultural Science*, 31(1), 75–82. (in Chinese with English abstract) [辛利娟, 王伟, 靳勇超, 刁兆岩, 李俊生 (2014) 全国草地类自然保护区的成效评估指标. *草业科学*, 31(1), 75–82.]
- Xin LJ, Zhu YP, Chen B, Jin YC, Luo JW, Wang W (2015a) Effectiveness assessment of Cangshan Nature Reserve of Yunnan Province based on PSR Model. *Ecological Economy*, 31, 125–128, 141. (in Chinese with English abstract) [辛利娟, 朱彦鹏, 陈冰, 靳勇超, 罗建武, 王伟 (2015a) 基于PSR模型的云南苍山保护区保护成效研究. *生态经济*, 31, 125–128, 141.]
- Xin LJ, Jin YC, Zhu YP, Luo JW, Wang L, Chen B, Wang W (2015b) Development of effectiveness assessment indicators of desert nature reserve in China: a case study of the Anxi National Nature Reserve. *Journal of Desert Research*, 35, 1693–1699. (in Chinese with English abstract) [辛利娟, 靳勇超, 朱彦鹏, 罗建武, 王亮, 陈冰, 王伟 (2015b) 中国荒漠类自然保护区保护成效评估指标及其应用. *中国沙漠*, 35, 1693–1699.]
- Xue DY, Zheng YW (1994) A study on evaluation criteria for effective management of the nature reserves in China. *Rural Eco-Environment*, 10(2), 6–9. (in Chinese with English abstract) [薛达元, 郑允文 (1994) 我国自然保护区有效管理评价指标研究. *农村生态环境*, 10(2), 6–9.]
- Yan YY, Yang DD, Deng J, Zhang ZQ, Zhou XY, Wang W, Li JS (2015) Construction of an indicator system for evaluating the protection efficacy of national nature reserves in China: a case study on terrestrial vertebrates (excluding migratory birds). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26, 1571–1578. (in Chinese with English abstract) [晏玉莹, 杨道德, 邓娇, 张志强, 周先雁, 王伟, 李俊生 (2015) 国家级自然保护区保护成效评估指标体系构建——以陆生脊椎动物(除候鸟外)类型为例. *应用生态学报*, 26, 1571–1578.]
- Yang DD, Deng J, Zhou XY, Zhang ZQ, Yan YY, Zhang H, He YB, Wang W, Li JS (2015) Construction of an indicator system and a case study of protection efficacy evaluation of China's national nature reserves for migratory birds. *Acta Ecologica Sinica*, 35, 1891–1898. (in Chinese with English abstract) [杨道德, 邓娇, 周先雁, 张志强, 晏玉莹, 张鸿, 何玉邦, 王伟, 李俊生 (2015) 候鸟类型国家级自然保护区保护成效评估指标体系构建与案例研究. *生态学报*, 35, 1891–1898.]
- Young JE, Sánchez-Azofeifa GA, Hannon SJ, Chapman R (2006) Trends in land cover change and isolation of protected areas at the interface of the southern boreal mixed-wood and aspen parkland in Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*, 230, 151–161.
- Yu XL, Zhou XY, Cai L (2015) Protection effectiveness evaluation of wild plants types nature reserves in China. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 35(3), 32–35, 52. (in Chinese with English abstract) [喻勋林, 周先雁, 蔡磊 (2015) 野生植物类型自然保护区保护成效评估. *中南林业科技大学学报*, 35(3), 32–35, 52.]
- Zhang YL, Hu ZJ, Qi W, Wu X, Bai WQ, Li LH, Ding MJ, Liu LS, Wang ZF, Zheng D (2015) Assessment of protection effectiveness of nature reserves on the Tibetan Plateau based on net primary production and the large-sample-comparison method. *Acta Geographica Sinica*, 70, 1027–1040. (in Chinese with English abstract) [张镱锂, 胡忠俊, 祁威, 吴雪, 摆万奇, 李兰晖, 丁明军, 刘林山, 王兆锋, 郑度 (2015) 基于NPP数据和样区对比法的青藏高原自然保护区保护成效分析. *地理学报*, 70, 1027–1040.]
- Zheng YM, Zhang HY, Niu ZG, Gong P (2012) Protection efficacy of national wetland reserves in China. *Chinese Science Bulletin*, 57, 207–230. (in Chinese with English abstract) [郑姚闽, 张海英, 牛振国, 宫鹏 (2012) 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. *科学通报*, 57, 207–230.]

(责任编辑: 唐志尧 责任编辑: 黄祥忠)

• 方法 •

Maxent模型复杂度对物种潜在分布区预测的影响

朱耿平^{1*} 乔慧捷²¹ (天津市动植物抗性重点实验室, 天津师范大学生命科学院, 天津 300387)² (中国科学院动物研究所, 北京 100101)

摘要: 生态位模型在入侵生物学和保护生物学中具有广泛的应用, 其中Maxent模型最为流行, 被越来越多地应用在预测物种的现实分布和潜在分布的研究中。在Maxent模型中, 多数研究者采用默认参数来构建模型, 这些默认参数源自早期对266个物种的测试, 以预测物种的现实分布为目的。近期研究发现, Maxent模型采用复杂机器学习算法, 对采样偏差敏感, 易产生过度拟合, 模型转移能力仅在低阈值情况下较好。基于默认参数的Maxent模型不仅预测结果不可靠, 而且有时很难解释。在本研究中, 作者以入侵害虫茶翅蛾(*Halyomorpha halys*)为例, 采用经典模型构建方案(即构建本土模型然后将其转移至入侵地来评估), 利用ENMeval数据包来调整本土Maxent模型调控倍频和特征组合参数, 分析各种参数条件下模型的复杂度, 然后选取最低复杂度的模型参数(即为最优模型), 综合比较默认参数和调整参数后Maxent模型的响应曲线和预测结果, 探讨Maxent模型复杂度对预测结果的影响及Maxent模型构建时所需注意事项, 以期对物种潜在分布进行合理的预测, 促进Maxent模型在我国的合理运用和发展。作者认为, 环境变量的选择至关重要, 需要综合分析其所模拟物种分布的限制作用和环境变量之间的空间相关性。构建Maxent模型前需对物种分布采样偏差及模型的构建区域进行合理地判断, 模型构建时需要比较不同参数下模型的预测结果和响应曲线, 选取复杂度较低的模型参数来最终建模。在茶翅蛾的分析中, Maxent模型的默认参数和最优模型参数不同, 与Maxent模型默认参数相比, 采用调整参数后所构建的模型预测效果较好, 响应曲线较为平滑, 模型转移能力较高, 能够较为合理反映物种对环境因子的响应和准确地模拟该物种的潜在分布。

关键词: 生态位模型; Maxent模型; 模型复杂度; 转移能力; 现实分布; 潜在分布

Effect of the Maxent model's complexity on the prediction of species potential distributions

Gengping Zhu^{1*}, Huijie Qiao²¹ Tianjin Key Laboratory of Animal and Plant Resistance, College of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387² Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

Abstract: Ecological niche modeling (ENM) is widely used in the study of biological invasions and conservation biology. Maxent is the most popular algorithm and is being increasingly used to estimate species' realized and potential distributions. Most modelers use the default Maxent setting to fit niche models, which originated from an earlier study containing 266 species, with the purpose of seeking their realized distributions. However, recent studies have shown that Maxent uses a complex machine learning method. It is sensitive to sampling bias and tends to overfit training data, and is only transferrable at low thresholds. Default settings based on Maxent outputs are sometimes not reliable, making it difficult to interpret. Using *Halyomorpha halys* and classical modeling approaches (i.e., niche models that were calibrated in native East Asia and transferred to North America), we tested the complexity and performance of the Maxent model under different settings of regulation multipliers and feature combinations, and chose a fine-tuned setting with the lowest complexity. We then compared the response curves and model interpolative and extrapolative valida-

收稿日期: 2016-09-20; 接受日期: 2016-10-28

基金项目: 国家自然科学基金(31401962)、天津师范大学人才引进基金项目(5RL127)、天津市131创新人才培养工程项目(ZX110204)和天津市用三年时间引进千名以上高层次人才项目(5KQM110030)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: gengpingzhu@hotmail.com

tions between models calibrated using default and fine-tuned settings. Our purpose was to explore the effects of the model's complexity on niche model performance in order to improve the development and application of Maxent in China. We argue that selection of environmental variables is crucial for model calibration, which should include ecological relevance and spatial correlation. Reducing sampling bias and delimitating a proper geographic background, together with the comparison of response curves and complexity of Maxent models built under different settings, is very important for fitting a good niche model. In the case of *H. halys*, the default and fine-tuned settings are different, however the response curve is much smoother in the fine-tuned model, and the omission error is lower in introduced areas when compared to default model, suggesting that the fine-tuned model reflects the response of *H. halys* to environmental factors more reasonably and precisely predicts the potential distribution.

Key words: ecological niche model; Maxent; model complexity; transferability; realized distribution; potential distribution

近年来,生态位模型在生物多样性保护的多个领域得到应用,如入侵生物学、保护生物学、全球气候变化对物种分布的影响、谱系生物地理学及传染病空间传播研究(Peterson et al, 2011; 朱耿平等, 2013)。一般来说,生态位模型可分为实验机理性方案(mechanistic approach)模型和相关性方案(correlative approach)模型两种(Soberón & Peterson, 2005; Kearney et al, 2010)。实验机理性方案指的是通过实验测试物种的生理耐受性来推断物种在地理空间中的分布;相关性方案生态位模型将地理空间和生态空间联系起来,利用物种已知的分布数据和相关环境变量,根据一定的算法来构建模型,判断物种的生态需求,并将运算结果投射到不同的时间或地理空间中来预测物种的现实分布(realized distribution)和潜在分布(potential distribution)。与实验机理性方案生态位模型相比,相关性方案的生态位模型具有开放性、构建相对简单、所需参数较少等特点,从而被越来越多的学者所采用。与分子系统学的发展历程不同,生态位模型的广泛应用推动着其理论基础不断向前发展,其中生态位概念、生态位与物种分布的关系、生态位模型与生态位的关系等理论的丰富和发展是构建合理模型的重要基础(Peterson & Soberón, 2012; 乔慧捷等, 2013; 朱耿平等, 2013)。

生态位模型所模拟的物种分布朝着两个方向,即现实分布和潜在分布,它们在不同领域分别有着广泛的应用。前者以模拟物种现实分布为目的,模型构建后不需要转移,主要应用于保护区的界定和濒危物种迁地保护研究中;后者以模拟物种的潜在分布为目的,模型构建后需要转移,这种转移以生

态位的保守性为基础,主要应用于入侵生物学、全球变化对物种分布的影响、以及谱系生物地理学中(Jiménez-Valverde et al, 2011)。在以现实分布为目的时,生态位模型有时也被称为物种分布模型。目前常用的生态位模型有约20种,各自有不同的理论基础、分析方式和数据需求,这些模型所模拟的物种分布分别处于现实分布和潜在分布之间。一般认为同时采用物种存在和不存在分布数据的模型所模拟的物种分布倾向于反映物种的现实分布,仅采用物种存在分布点的模型所模拟的物种分布倾向于反映物种的潜在分布(Jiménez-Valverde et al, 2011)。Maxent模型是目前使用最为广泛的生态位模型(Ahmed et al, 2015; Barbosa & Schneck, 2015; Vaz et al, 2015),它以概率论和机器学习理论为基础(Phillips et al, 2006),采用物种存在分布点和背景环境变量来构建模型,所模拟的物种分布介于潜在分布和现实分布之间(Jiménez-Valverde et al, 2011)。

在生态位模型中,简单模型准确率常较低、可转移性高;而复杂模型恰好相反,准确率高、可转移性差(Qiao et al, 2015)。如何在模型的可转移性和准确率之间找到平衡点,是生态位模型的一个重要研究方向(乔慧捷等, 2013)。Maxent模型属于机械学习式的复杂模型,多数研究者采用Maxent默认参数来构建模型,这些默认参数的设置源自早期Maxent模型开发者对不同地理区域的266个物种数据的测试(主要是鸟类、哺乳类、爬行类以及植物),所测试物种以模拟其现实分布为目的(Phillips & Dudik, 2008)。随后的研究发现,在以模拟物种潜在分布为目的时,Maxent模型对采样偏差敏感,容易产生过度拟合(overfitting)的问题,从而影响模型的转移能

力, 模型转移能力仅在低阈值情况下较好(Peterson et al, 2008; Warren & Seifert, 2011; Warren et al, 2014)。当以模拟现实分布为目的时, Maxent模型的这种特性对预测结果影响不明显; 但当以模拟物种潜在分布为目的时, 由于Maxent模型容易过度拟合导致模型转移能力较低, 严重影响了其在入侵生物学和全球变化生物学等研究中的应用, 这种模拟不仅预测结果不可靠, 而且预测结果很难解释。

在本研究中, 以入侵害虫茶翅蝽(*Halyomorpha halys*)为例, 以预测入侵物种的潜在分布为目的, 探讨Maxent模型的复杂度对模型转移能力的影响。本研究采用经典生态模型方案, 通过构建本土模型, 然后将其转移至入侵地来模拟茶翅蝽的潜在分布, 同时采用地理空间分层的方法测试Maxent模型对本土分布数据是否过度拟合。通过调用ENMeval数据包(Muscarella et al, 2014)来调整Maxent模型参数和分析各种参数条件下的模型复杂度, 并选取最低复杂度的模型参数, 综合比较Maxent模型默认参数和调整参数后的响应曲线和预测结果, 探讨Maxent模型复杂度对预测结果的影响以及Maxent模型构建时的注意事项。本文结合模型的构建材料及模型的构建区域全面阐述提高模型转移能力的策略, 以期对物种潜在分布进行合理的预测, 促进Maxent模型在我国的合理运用和发展。

1 材料与方法

1.1 数据来源及处理

茶翅蝽原产于亚洲东部(中国、日本、韩国和朝鲜), 现已在北美洲和欧洲建立种群, 危害比较严重。物种分布点数据和环境变量源自Zhu等(2012, 2016)中, 已去除采样偏差对模型的影响。环境变量的选取主要考虑其对物种分布的限制作用和变量间的空间相关性(Peterson et al, 2011), 选取了年平均气温(bio1)、最热月份最高气温(bio5)、最冷月份最低气温(bio6)、年降雨量(bio12)和年平均辐射量(bio20)等5个环境变量(Hijmans et al, 2005; Kriticos et al, 2011)。研究区域分为茶翅蝽的本土种群生存地区以及入侵地, 其中本土地区包括中国、朝鲜、韩国和日本, 入侵地以北美洲为例(Zhu et al, 2016)。

1.2 模型构建及评价

首先采用Maxent默认参数在茶翅蝽本土地区

构建模型, 然后将其转移至入侵地来检验和评价模型; 随后通过调用ENMeval数据包来调整Maxent模型调控倍频(regularization multiplier, RM)和特征组合(feature combination, FC)参数, 分析各种参数条件下模型的复杂度, 选取最低复杂度的模型参数; 最后综合比较分析Maxent模型默认参数和调整参数后的响应曲线和预测结果, 探讨Maxent模型复杂度对预测结果的影响。Maxent模型的复杂度与其RM和FC参数密切相关。目前Maxent中有5种特征, 即: 线性(linear - L), 二次型(quadratic - Q), 片段化(hinge - H), 乘积型(product - P)和阈值性(threshold - T)。在其默认设置中, RM的值为1, 具体特征组合的选择和使用与物种分布点数量有关, 通常情况下linear feature一直在运行, quadratic feature在物种分布点>10时使用, hinge feature在分布点>15时使用, threshold和product feature在分布点>80时使用(Elith et al, 2010)。ENMeval数据包通过测试不同参数条件下Maxent模型修正的AIC值(即AICc)来评价模型的复杂度。AIC信息量准则(Akaike information criterion correction, AIC)是衡量统计模型拟合优良性的一种标准, 可以权衡所估计模型的复杂度和此模型拟合数据的优良性, AIC信息量准则优先考虑AIC值最小的模型(Akaike, 1973)。AIC值可通过Maxent模型运行后产生的lambdas文件计算获得(Warren & Seifert, 2011)。在本研究中, 我们将RM设置为0.5-4, 每次增加0.5, 采用6个特征组合(FC), 即: L, LQ, H, LQH, LQHP和LQHPT。为测试Maxent模型对本土分布数据拟合的效果, 在本土区域将物种分布点进行空间分割成4等份, 随机采用其中的3份构建模型, 剩余的1份用于检验模型(Muscarella et al, 2014)。

在本研究中, 所有物种分布数据分成3份, 其中随机选取70%的本土物种分布点用于模型构建和优化, 剩下30%的本土物种分布点用于模型内部检验, 北美入侵地物种分布点用于检验模型转移能力。Maxent模型的对比和评价主要采用响应曲线和遗漏率曲线, 同时采用Partial ROC方案测试模型的本土预测能力和转移能力(Peterson et al, 2008)。在ENMeval数据包中, 采用AUC来测试模型在本土4份地理空间之间的相互预测的效果, AUC.diff(等于AUCtrain-AUCtest)和OR10用来测试模型对本土物种分布点的拟合程度, delta.AICc用来测试模型的复

杂度和拟合程度(详细参见Muscarella et al, 2014)。

2 结果

基于茶翅蝽的物种分布点数目(234个), Maxent模型在默认参数设置时, 其 $RM = 1$, 运行的Feature有L, Q, H, P和T。基于AIC信息准则, 在Maxent的运行参数为 $RM = 3$ 和运行Feature为L, Q和H时, 其AIC值最小(图1)。在茶翅蝽本土范围内, Maxent模型进行地理空间之间相互预测时, 基于优化模型的AUC值(0.641)高于默认参数下模型的AUC值(0.628) (图1), 二者总体上都不高, 说明在东亚本土分布范围内, 茶翅蝽分布的生境异质性较大。基于优化模型的AUCdiff和OR10值明显低于默认参数下的Maxent模型(图1), 表明优化后的模型明显降低了对本土分布数据的过度拟合。在响应曲线中, 基于默认参数的Maxent模型表现出明显曲折性, 表明

Maxent模型对模型构建区的物种分布数据存在过度拟合现象。相反, 当采用最优模型参数时, 响应曲线变得相对平滑(图2), 亦表明优化后的模型降低了Maxent模型对本土分布数据的过度拟合, 从而更接近茶翅蝽对环境因子的生理响应。

在本土模型构建区, 基于默认参数构建的Maxent模型其AUCratio值为1.526, 基于最小AICc值校正参数后的Maxent模型其AUCratio值为1.539。将Maxent模型转移至全球范围后, 基于默认参数和优化参数后模型的预测差别较大(图3), 特别是在南半球, 如南美洲北部和非洲的中部地区(图3)。与南半球的预测相比, 二者在北美洲和欧洲的预测效果也有一定的差别。在北美洲, 基于默认参数和优化参数后的Maxent模型其AUCratio值分别为1.430和1.452。在遗漏率曲线中, 在不同的阈值下, 基于优化参数后的Maxent模型对入侵地分布数据的遗漏

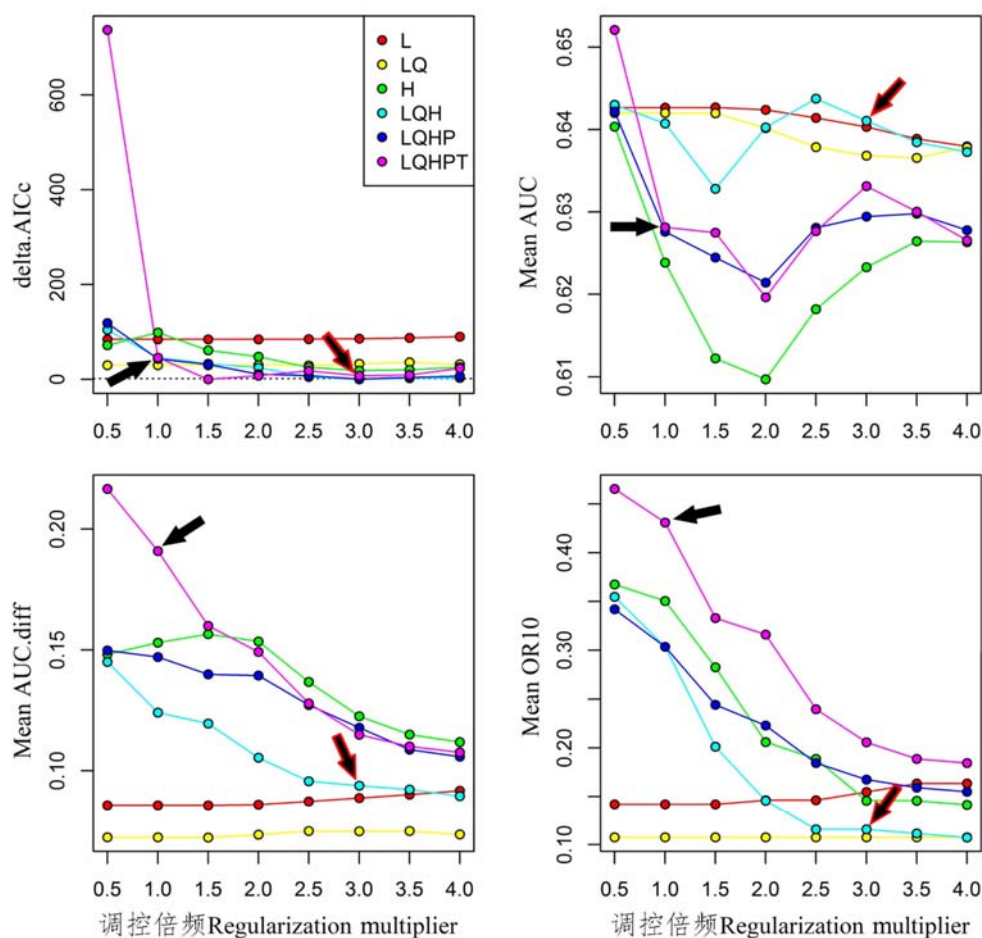


图1 不同参数下的茶翅蝽本土模型表现。黑色箭头表示Maxent默认参数, 红边箭头表示AIC值最小优化模型参数。

Fig. 1 Performances of native niche model of *Halyomorpha halys* under different settings. Black arrow indicates default setting, reded arrow indicates the AICc-chosen setting.

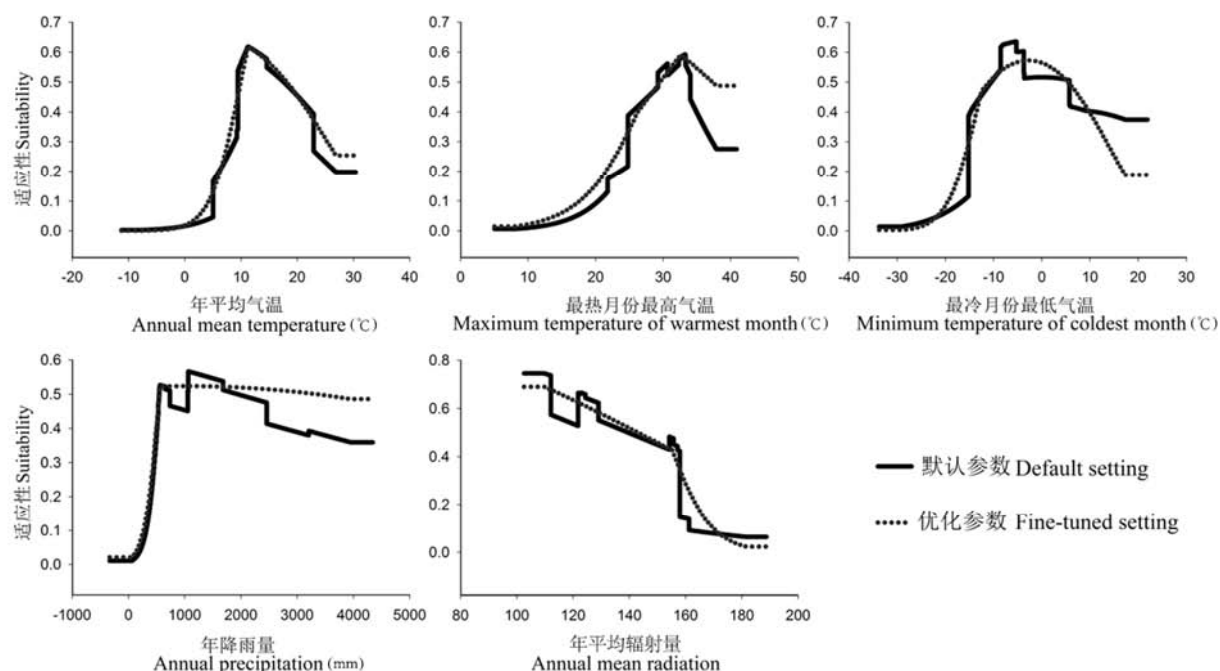


图2 基于默认参数和优化参数的本土Maxent模型中茶翅蝽对5个气候变量的响应曲线

Fig. 2 Comparison of response curves of *Halyomorpha halys* to five bioclimatic variables based on the default and fine-tuned Maxent settings

率相对较低,表明优化后的模型转移能力较强,在北美洲预测茶翅蝽潜在分布的效果较好(图4)。在本土和入侵地的预测中,优化参数后的Maxent模型均优于默认参数的模型,对本土亚洲东部和入侵地北美洲分布的茶翅蝽种群均能够有相对较好的预测。

3 讨论

生态位模型是利用物种已知分布点所关联的环境变量去推算物种的生态需求,模拟物种的分布。在模拟入侵物种分布时,经典生态位模型通过模型构建物种本土分布地模型,然后将其转移并投射至另一地理区域,来模拟入侵物种的潜在分布。然而在模型运用时,出现了模型转移能力较低、模拟结果与物种的现实分布不相符的情况,由此得出了生态位漂移等不恰当的结论。提高生态位模型的转移能力,不仅可以准确地模拟物种的潜在分布,同时对生态位保守性等理论问题具有重要的参考价值(朱耿平等, 2014)。

3.1 Maxent模型默认参数的局限性

Maxent默认参数的设置源自早期模型开发者对6个不同地理区域的266个物种数据的测试(Phillips & Dudík, 2008),他们采用海量物种的分布

数据和多种实验方案,以期得到一个最优的模型参数作为默认参数来推广和简化Maxent模型的应用,这些物种涵盖了鸟类、哺乳类、爬行类以及植物等类群,分布在澳洲、新西兰、欧洲和南美洲等地区。然而,这些模型的应用均是以预测现实分布为目的,模型构建后不需转移,预测模型需要能够很好地辨别物种的分布与否(即区分物种的分布和不分布, Jiménez-Valverde et al, 2008; Phillips & Dudík, 2008)。在生物入侵、全球变化对物种分布影响和谱系生物地理学中,生态位模型的应用是以模拟物种的潜在分布为目的,Maxent模型构建以后需要转移至不同地理空间中去预测物种的潜在分布,需要降低模型预测的遗漏率。虽然Maxent模型所模拟的物种分布介于潜在分布和现实分布之间(Jiménez-Valverde et al, 2011),但从研究者目的出发有时需要调整模拟方案来实现模拟需求。在以模拟物种潜在分布为目的时,Maxent模型默认参数可能不再适用,如本研究中,茶翅蝽的最优模型参数不同于默认参数(图1),如果继续采用默认参数,Maxent模型虽能够很好地拟合模型构建区的物种分布,但由于过度拟合会造成模型转移能力降低(图4)。此外,Maxent模型默认参数的测试数据中所采用的物种

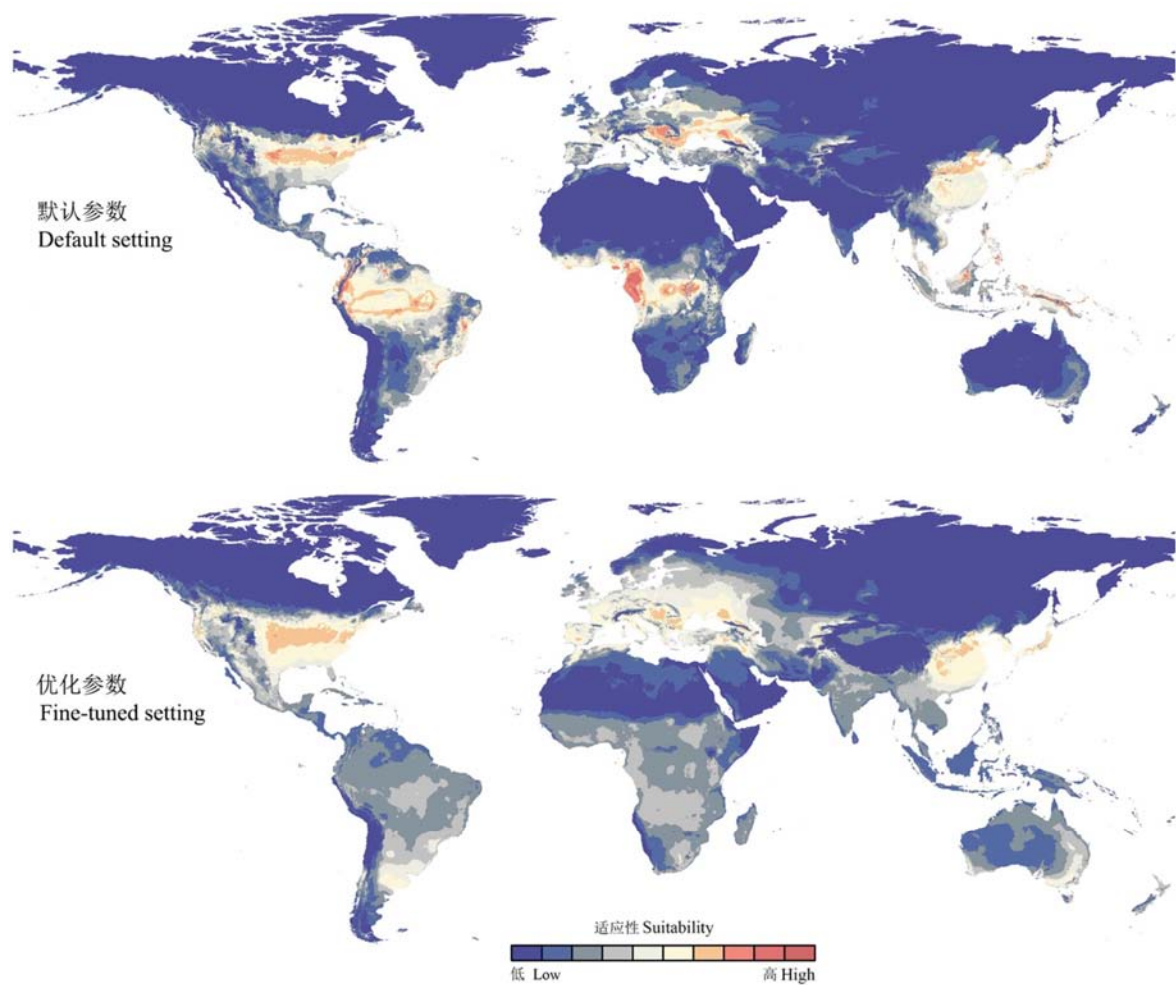


图3 基于默认参数和优化参数后的Maxent模型转移后对茶翅蟥的潜在分布预测
Fig. 3 Predictions of *Halyomorpha halys* based on its native Maxent models calibrated on the default and fine-tuned settings

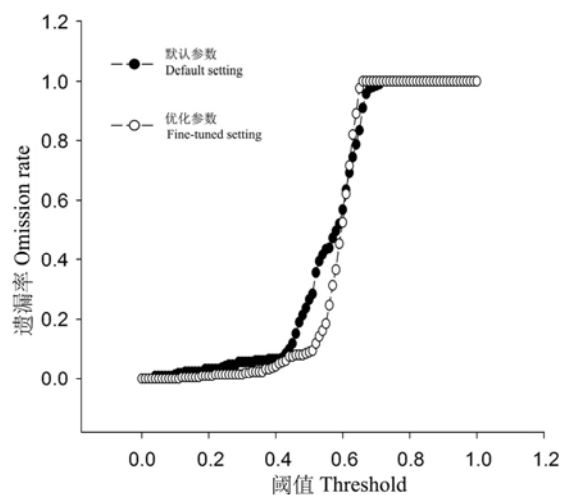


图4 基于默认参数和优化后参数的Maxent模型转移后对北美分布茶翅蟥预测的遗漏率
Fig. 4 Omission rates of North American records of *Halyomorpha halys* based on its native Maxent models predictions using the default and fine-tuned settings.

数据和地理区域亦具有局限性，如所测试数据未包括昆虫类群，地理区域亦未包括亚洲和北美洲等地区(Phillips & Dudík, 2008)。

3.2 提高模型转移能力的策略——物种分布点和环境变量

相关性方案生态位模型所需设置的参数较少，构建材料比较简单(即物种的分布点和环境变量)，随着全球物种分布数据的共享和GIS技术的快速发展，这些数据的获取变得相对容易，但构建一个合理的模型还需要充分了解所模拟物种的生物学特性、种群平衡状态、本土地理分布范围及种群历史等方面的知识(朱耿平等, 2014)。在生态位保守的前提下，如果模型是构建在一个合理方案的基础上，生态位模型的转移能力是可以保证的，在以模型转移能力较低的现象来阐述生态位分化时需要引起

注意。生态位的概念、生态位与物种分布的关系等理论是构建合理模型的重要理论基础(Peterson et al, 2011)。在准备模型构建材料时, 一般认为物种分布点不仅要充分覆盖物种的地理分布和生态空间的范围, 同时要降低物种采样点偏差。环境变量的选择要充分考虑其对物种分布的限制作用、各环境变量之间的空间相关性, 以及不同地理种群间生态空间是否一致, 同时要降低环境变量的空间维度(Zhu et al, 2013); 模型构建区域要真实地反映物种的地理分布范围, 并考虑种群的平衡状态(Zhu et al, 2013, 2014)。

3.3 提高模型转移能力的策略——模型复杂度

Maxent模型的复杂度对模型的转移能力影响较大, 基于默认参数和优化参数后模型的预测结果差异显著(图3)。在本研究中, 经过调整参数后的Maxent模型, 其响应曲线较为平滑, 能够较为实际地反映物种对环境因子的响应。相反采用默认参数所构建的模型, 其响应曲线曲折较多。简单模型和复杂模型各有利弊, 简单的模型对模型构建区物种分布数据拟合效果较差, 而复杂的模型虽能较好地拟合构建区物种分布数据, 但其所反映出的物种和环境变量之间的响应关系偏离实际(乔慧捷等, 2013)。在以模拟潜在分布为目的的生态位模型应用中, Maxent模型复杂度对预测结果的不利影响更为严重(Warren & Seifert, 2011; Warren et al, 2014), 这是因为模型构建后需要将其转移投射至其他地理空间来预测该物种的分布。复杂的模型由于其过度拟合模型构建区的物种分布数据, 导致模型转移至其他地理空间后预测能力降低, 所模拟的结果不可靠或与实际偏差较大。因此在构建模型之前, 建议对物种分布数据和环境变量进行预处理; 在构建Maxent生态位模型时, 建议采用ENMeval数据包等方法, 对Maxent模型的复杂度进行评估, 选择复杂度较低的模型来预测物种的潜在分布, 同时采用空间分割的方法对模型构建区的拟合度进行评估。

致谢: 感谢美国Kansas大学A. Townsend Peterson教授和Jorge Soberón教授在生态位模型学习中所给予的指导和帮助。

参考文献

Ahmed SE, McInerney G, O'Hara K, Harper R, Salido L, Em-

- mott S, Joppa LN (2015) Scientists and software – surveying the species distribution modelling community. *Diversity and Distributions*, 21, 258–267.
- Akaike H (1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: 2nd International Symposium on Information Theory (eds Petrov BN, Csáki F), pp. 267–281. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Barbosa FG, Schneck F (2015) Characteristics of the top-cited papers in species distribution predictive models. *Ecological Modelling*, 313, 77–83.
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík D, Chee YE, Yates CJ (2010) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17, 43–57.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- Jiménez-Valverde A, Peterson AT, Soberón J, Overton JM, Aragón P, Lobo JM (2011) Use of niche models in invasive species risk assessments. *Biological Invasions*, 13, 2785–2797.
- Kearney MR, Wintle BA, Porter WP (2010) Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change. *Conservation Letters*, 3, 203–213.
- Kriticos DJ, Webber BL, Leriche A, Ota N, Macadam I, Bathols J, Scott JK (2011) CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modeling. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 53–64.
- Muscarella R, Galante PJ, Soley-Guardia M, Boria RA, Kass JM, Uriarte M, Anderson RP (2014) ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for MAXENT ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 1198–1205.
- Peterson AT, Papeş M, Soberón J (2008) Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213, 63–72.
- Peterson AT, Soberón J (2012) Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservacao*, 10, 102–107.
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Nakamura M, Martínez-Meyer E, Araújo MB (2011) *Ecological Niches and Geographical Distributions*. Princeton University Press, New Jersey.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Phillips SJ, Dudík MM (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161–175.
- Qiao HJ, Hu JH, Huang JH (2013) Theoretical basis, future directions, and challenges for ecological niche models. *Scientia Sinica Vitae*, 43, 915–927. (in Chinese with English abstract) [乔慧捷, 胡军华, 黄继红 (2013) 生态位模型的

- 理论基础、发展方向与挑战. 中国科学: 生命科学, 43, 915–927.]
- Qiao HJ, Soberón J, Peterson AT (2015) No silver bullets in correlative ecological niche modeling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, 1126–1136.
- Soberón J, Peterson AT (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Vaz UL, Cunha HF, Nabout JC (2015) Trends and biases in global scientific literature about ecological niche models. *Brazilian Journal of Biology*, 75, 17–24.
- Warren DL, Seifert SN (2011) Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecology Applications*, 21, 335–342.
- Warren DL, Wright AN, Seifert SN, Shaffer HB (2014) Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. *Diversity and Distributions*, 20, 334–343.
- Zhu GP, Bu WJ, Gao YB, Liu GQ (2012) Potential geographic distribution of brown marmorated stink bug invasion (*Halymorpha halys*). *PLoS ONE*, 7, e31246.
- Zhu GP, Gao YB, Zhu L (2013) Delimiting the coastal geographic background to predict potential distribution of *Spartina alterniflora*. *Hydrobiologia*, 717, 177–187.
- Zhu GP, Redei D, Kment P, Bu WJ (2014) Effect of geographic background and equilibrium state on niche model transferability: predicting areas of invasion of *Leptoglossus occidentalis*. *Biological Invasions*, 16, 1069–1081.
- Zhu GP, Garipey TD, Haye T, Bu WJ (2016) Patterns of niche filling and expansion across the invaded ranges of *Halymorpha halys* in North America and Europe. *Journal of Pest Science*, doi:10.1007/s10340-016-0786-z.
- Zhu GP, Liu GQ, Bu WJ, Gao YB (2013) Ecological niche modeling and its applications in biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 21, 90–98. (in Chinese with English abstract) [朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 高玉葆 (2013) 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. 生物多样性, 21, 90–98.]
- Zhu GP, Liu Q, Gao YB (2014) Improving ecological niche model transferability to predict the potential distribution of invasive exotic species. *Biodiversity Science*, 22, 223–230. (in Chinese with English abstract) [朱耿平, 刘强, 高玉葆 (2014) 提高生态位模型转移能力来模拟入侵物种的潜在分布. 生物多样性, 22, 223–230.]

(责任编辑: 张大勇 责任编辑: 闫文杰)

• 生物编目 •

浅谈《墨尔本法规》中的“采集”、“新命名”和“命名人引证”等术语

朱相云*

(中国科学院植物研究所系统与进化植物学国家重点实验室, 北京 100093)

On the terms “gathering”, “nomenclatural novelty”, and “author citation” in the Melbourne Code

Xiangyun Zhu*

State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

1 采集

在《国际藻类、菌物和植物命名法规》(*International Code of Nomenclature for Algae, Fungi, and Plants*) (Melbourne Code, 以下简称《墨尔本法规》) (<http://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php>) (McNeill et al, 2012)中, 名称的命名模式是与其永久关联的成分(element) (见规则7.2)。自从术语“采集(gathering)”于2000年首次引入《国际植物命名法规》(*International Code of Botanical Nomenclature*) (Saint Louis Code, 也称《圣路易斯法规》) (Greuter et al, 2000)以来, 分类学家基于此概念解决了模式标定(typification)中遇到的诸多复杂疑难问题, 为正确认识和确定模式标本类型提供了有效方法。

“采集”在《墨尔本法规》的词汇(p. 156)中有详细的解释, 即由相同的采集人在相同的时间和相同的地点所采集的植物标本。正确地理解采集这一概念对于确定模式标本属性非常重要, 如果理解不到位, 就会出现错误判断, 甚至应用错误的现象。一般认为一个采集仅包含1号标本, 而目前的“采集”概念并未涵盖同一采集是否包含不同的采集号(尤其指含2份以上的标本)。考虑到实际研究中的具体

情况, Zhu (2014)已建议将属于同一采集而仅采集号不同的标本引入同一采集的概念之中, 有待审核批准。一个采集可以是1份标本, 也可以是2至多份标本, 其是否可作为模式的关键在于论文作者在发表新分类群时如何引证和标定所研究的采集。例如, 陈心启(1978)发表新种*Asparagus kansuensis*, 并将该新种的命名作者写作F. T. Wang & Tang, 但根据规则46注解2, 该名称正确的命名作者应为F. T. Wang & Tang ex S. C. Chen或S. C. Chen。虽然陈心启在模式标本上有手写体, 标有主模式仅含雄株标本(注: 该模式标本含雄株、雌株两个个体), 但他在发表该新种时明确标明雌株、雄株标本均为主模式), 相应的模式标本引证为: “甘肃: 文县, 海拔910 m, 郝景盛(K. S. Hao) 416 (♂和♀模式标本 Typus!)”。根据规则8.1, 陈心启对该种的主模式指定来自同一采集的标本, 包含雄株和雌株, 均为模式标本, 属合格发表。然而, Lin和Yang (2011)认为陈心启选用的主模式不属于同一采集, 因此判定其所发表新种属于不合格发表。他们指定其中的雌株标本为模式, 并重新发表。根据规则6.3注解2, 该名称属于晚出等名(later isonym), 又根据规则12.1, 该名称没有分类地位, 因此属于没有分类地位的不合格发表名称, 应予以废除。

收稿日期: 2016-07-04; 接受日期: 2016-08-13

基金项目: 国家自然科学基金(31570192, 31270240)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xiangyunzhu@ibcas.ac.cn

2 新命名(新拟)

《墨尔本法规》对新命名(nomenclatural novelty) (McNeill et al, 2012)作了详细的阐述(p. 158), 不但与以前人们普遍认识的新名称(new name)有所不同, 而且与《国际植物命名法规》(International Code of Botanical Nomenclature, Vienna Code) (McNeill et al, 2006) (p. 488)的概念有所不同。新命名不但包括新分类群(new taxon)、新组合(new combination)、新等级(name at new rank)和替代名称(replacement name), 而且包括新等级组合(见规则6.10注解3 & 4)。举例说明如下: 在《墨尔本法规》规则6.10 Ex. 13中, 基于种名*Centaurea weldeniana* Rchb. (Reichenbach, 1831), 不同的作者分别发表了以下组合:

(1) Briquet (1902)在变种等级上发表新组合及新等级*C. jacea* var. *weldeniana* (Rchb.) Briq. **comb. et stat. nov.**, 该组合既是新组合(变种等级的新组合), 也是新等级(从种到变种的新等级)。

(2) Kušan (1936)在亚种等级上发表新组合及新等级*C. amara* subsp. *weldeniana* (Rchb.) Kušan **comb. et stat. nov.**, 该组合既是新组合(亚种等级的新组合), 也是新等级(从种到亚种的新等级)。

(3) Greuter (2003) 在亚种等级上发表了新等级组合*Centaurea jacea* subsp. *weldeniana* (Rchb.) Greuter, **comb. in stat. nov.**, 该组合不是新组合(亚种等级并非新组合), 而是新等级(从种到亚种的新等级, 指在种*C. jacea*下), 因为亚种等级上的新组合已经由Kušan于1936年发表, 因而称之为新等级的组合。

关于新分类群, 《墨尔本法规》规则6.9有明确的规定, 即新类群的名称是基于其自身特质而合格发表的名称, 也就是说, 它不能以先前已经合格发表的名称作为基名而再行发表。对于这样的问题, 往往会有不同的理解。例如: 在发表*Shangwua* Yu J. Wang et al (Wang et al, 2013)时, 作者明确表示该属属于新属(**gen. nov.**), 而这与规则6.9规定的新分类群是相悖的, 原因是作者引证了先前已经合格发表的亚属*Saussurea* sect. *Jacea* Lipsch. (Schischkin, 1954)作为基名, 同时指定基名原始材料中的合模式(syntype)为其模式, 说明该属是基于先前合格发表的亚组而发表的新名称和新等级(**nom. et stat. nov.**), 并非新属。尽管如此, 并不影响该属名合格

发表的性质。该属之所以称为新名称和新等级, 不仅仅因为它是新等级, 发表时引证的基名是组, 与属的等级不同(见规则6.10和7.3), 而且由于该属名如果采纳其基名的加词, 将导致在属级水平上产生晚出同名, 因此, 必须以替代名称发表该属名(见规则6.11和58.1)。

3 命名人引证

《墨尔本法规》中明确规定, 一个完整的植物种名(其他等级的名称类推, 使用相应的名称)除包含拉丁属名和拉丁种加词外, 还包括命名人。《墨尔本法规》建议命名作者使用罗马字母化的人名(见辅则46B)。关于命名人的标准缩写详见<http://www.ipni.org/ipni/authorsearchpage.do>。该网站随时更新、修正、补充和完善新的命名人信息, 为读者查询提供了极大的方便。当读到一篇载有新分类群的文献时, 正确判明和引证新分类群命名人是一件非常棘手的事, 即使对于分类学家也同样如此。主要原因在于正确的命名人不是照搬原论文中的式样, 而是以原白(protologue)的相关信息为依据, 应用规则46中的相关解释进行判断。命名人引证详见《墨尔本法规》第153页。例如: Boufford等(1990)发表新种*Rubus fanjingshanensis*。该论文的作者是Boufford, Z. H. Tsi和P. S. Wang, 他们将新种的命名人标注为L. T. Lu, 然而, 在阅读完原文后, 并没有发现L. T. Lu对于该新种描述有任何贡献, 因此该新种正确的命名人归属应为L. T. Lu ex Boufford, Z. H. Tsi & P. S. Wang或Boufford et al (见规则46.5)。另外, 新名称和新等级*Shangwua* Yu J. Wang, Raab-Straube, Susanna & J. Quan Liu (Wang et al, 2013)中的命名人分别是Yu J. Wang (全名是Yu Jin Wang), 而非Y. J. Wang (全名为Ya Jin Wang), J. Quan Liu (全名为Jian Quan Liu), 而非J. Q. Liu (其全名为Jian Qiu Liu)。在引证中国人名缩写时, 这些问题要特别注意。

致谢: 感谢中国科学院植物研究所杨永副研究员、中国科学院华南植物园夏念和研究员及杨亲二研究员在术语翻译方面提供的建议及帮助。

参考文献

Boufford DE, Tsi ZH, Wang PS (1990) Additions to the Flora

- of China. Journal of the Arnold Arboretum, 71, 123.
- Briquet JI (1902) *Centaurea jacea* var. *weldeniana* (Rchb.) Briq. In: Monographie des Centaurées des Alpes Maritimes (ed. Burnat E), p.69. Genève.
- Chen SC (1978) Species novae generis *Asparagi* e flora sinica. Acta Phytotaxonomica Sinica, 16, 94. (in Chinese with English abstract) [陈心启 (1978) 中国天门冬属新种. 植物分类学报, 16, 94.]
- Greuter W (2003) The Euro-Med treatment of Cardueae (Compositae)—generic concepts and required new names. Willdenowia, 33, 55.
- Greuter J, McNeill J, Barrie FR, Burdet HM, Demoulin V, Filgueiras TS, Nicolson DH, Silva PC, Skog JE, Trehane P, Turland NJ, Hawksworth DL (eds) (2000) International Code of Botanical Nomenclature (Saint Louis Code) adopted by the Sixteenth International Botanical Congress St. Louis, Missouri, July–August 1999. Regnum Vegetabile Volume 138, Koeltz Scientific Books, Königstein, Germany.
- Kušan F (1936) *Centaurea amara* subsp. *weldeniana* (Rchb.) Kušan Prirodoslovna Istraživanja Kraljevine Jugoslavije, 20, 29.
- Lin Q, Yang ZR (2011) Validation of the name *Asparagus kansuensis* (Asparagaceae). Novon, 21, 69.
- McNeill J, Barrie FR, Buck WR, Demoulin V, Hawksworth DL, Marhold K, Nicolson DH, Prado J, Silva PC, Skog JE, Wiersema JH, Turland NJ (eds) (2006) International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code) adopted by the seventeenth International Botanical Congress, Vienna, Austria, July 2005. Regnum Vegetabile Volume 146, A. R. G. Gantner Verlag KG.
- McNeill J, Barrie FR, Buck WR, Demoulin V, Greuter W, Hawksworth DL, Herendeen PS, Knapp S, Marhold K, Prado J, Prud'homme Van Reine WF, Smith GF, Wiersema JH, Turland NJ (eds) (2012) International Code of Nomenclature for Algae, Fungi, and Plants (Melbourne Code) adopted by the Eighteenth International Botanical Congress, Melbourne, Australia, July 2011. Regnum Vegetabile Volume 154, Koeltz Scientific Books.
- Reichenbach HGL (1831) *Centaurea weldeniana* Rchb. Flora Germanica Excursoria, 1(3), 213.
- Schischkin BK (1954) *Saussurea* sect. *Jacea* Lipsch. Notulae Systematicae ex Herbario Instituti Botanici Nomine V. L. Komarova Academiae Scientiarum URSS, 16, 441.
- Wang YJ, Raab-Straube E, Susanna A, Liu JQ (2013) *Shangwua* (Compositae), a new genus from Qinghai-Tibetan Plateau Himalayas. Taxon, 62, 992.
- Zhu XY (2014) To make a clearer definition of “gathering”. Taxon, 63, 1145–1146.

(责任编辑: 陈又生 责任编辑: 时意专)

•基金项目介绍•

“主要入侵生物生态危害评估与防制修复技术示范研究”项目介绍

李俊生* 赵彩云

(中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012)

A brief introduction to the fund program on Risk Assessment, Prevention of Invasive Alien Species and Demonstration of Restoration Techniques for Invaded Ecosystem

Junsheng Li*, Caiyun Zhao

Biodiversity Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

随着国际交流的增加,物种扩散到新的地理区域更为便捷,一些外来物种在入侵地对当地的生态环境、经济、社会造成危害。《全球生物多样性展望》(2014)认为生物入侵是导致生物多样性丧失的第二大因素。我国是遭受生物入侵最严重的国家之一,已发现外来入侵生物560种,其中属于世界自然保护联盟(IUCN)公布的全球100种最具威胁的外来入侵生物就有50余种。这些外来物种一旦入侵到稳定的生态系统中,原有的生态平衡就会被破坏,甚至因此而崩溃。我国非常重视生物入侵问题,对典型入侵生物的种群动态、生态学特征、入侵机制等开展了详细研究,研发了典型入侵生物的控制技术。然而如何有效地防控生物入侵和修复入侵生态系统仍然是当前亟待解决的关键科学问题,也是人类社会可持续发展面临的重大需求。为此,国家重点研发计划“生物安全关键技术研发”项目(2016YFC1201100)综合运用群落可入侵性、生态位、生物多样性阻抗假说等理论,从生态系统入侵控制与综合治理角度出发,在生态系统入侵危害识别、入侵物种扩散阻截、治理与生态修复等各个防控阶段开展系统研究,解决生物入侵防控中的一些重要共性关键技术,提出基于生态系统修复的综合控制技术,以提升生态系统抵御外来入侵物种的能力,开发相关的防控与修复技术并进行示范应用。

本项目由中国环境科学研究院牵头,联合中国科学院植物研究所、西双版纳热带植物园、广西植物研究所,北京林业大学,北京师范大学,台州学院,广东省生物资源应用研究所,华东师范大学,云南大学共十家单位承担。以入侵受损自然生态系统入侵生物控

制与生态修复为总体目标,以环保部公布的3批外来入侵物种名单为依据,选择对自然生态系统造成重要影响的典型入侵种为对象,旨在通过探索生态系统的入侵容忍度(invasion tolerance),掌握入侵生态系统遭受危害的重要节点,构建入侵危害评价指标体系,实现对我国脆弱生态系统入侵危害评估与等级划分,开发生态危害快速识别技术,为建立入侵生物生态危害超前预警提供技术支撑;通过对主要入侵生物扩散历史重构,扩散格局模拟,种群暴发重要节点识别,为入侵生物的扩散阻截及防控措施确立提供理论依据;通过研发入侵生物扩散阻截和环境友好型治理及生态修复技术,实现受损自然生态系统结构和功能的修复;建立入侵生物管理信息平台,为我国入侵生物危害的有效管理、生物多样性保护重大工程实施和生物多样性国际履约等提供基础数据、科学依据和技术支撑。

本项目的实施,将为相关管理部门在入侵生态系统分级管理和受损生态系统修复效果评估方面提供决策依据;项目形成基于入侵生物生态危害快速识别、入侵阻截、环境友好型的防控技术及生态修复技术的综合防控技术体系,有助于降低化学灭除的环境污染和二次入侵风险,实现入侵生物的有效防制;项目将研发基于本土植物配置替代的控制技术和环境友好型的防控技术与设备,可为培育环保型的产业提供技术支撑;项目通过对入侵受损生态系统修复,可改善生态系统结构,提高生态系统的水土保持、水源涵养、固碳释氧、水质净化等生态功能,维持区域生态平衡,促进自然生态系统的可持续发展,对生态环境安全格局起到不可估量的作用。

(责任编辑:周玉荣)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lijsh@craes.org.cn